



*PROGRAMA REGIONAL DE MAIZ
PARA CENTRO AMERICA Y EL CARIBE*

SINTESIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES 1993 – 1995

Editor Técnico

Jorge Bolaños.





**PROGRAMA REGIONAL DE MAÍZ PARA
CENTRO AMÉRICA Y EL CARIBE**

**SÍNTESIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES
1993-1995**

Editor Técnico:

Jorge Bolaños

**CIMMYT-PRM
Guatemala, Marzo 1997**

El **Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe (PRM)** es una red colaborativa de investigación de maíz con énfasis en el desarrollo de germoplasma mejorado, tecnologías para el manejo sostenible del cultivo del maíz y la evaluación de adopción e impacto de las tecnologías generadas. El desarrollo de las actividades tiene como meta fortalecer la capacidad de los programas nacionales de investigación agrícola. El PRM usa la planificación participativa por objetivos y su fase actual es de 1995-98. La red está constituida por nueve programas nacionales de investigación agrícola de Centro América y el Caribe y el **Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)**, quien actúa como agencia técnica de ejecución desde su oficina regional en Guatemala, y es financiada por la **Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE)**. El PRM incluye actualmente Costa Rica, Cuba, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Nicaragua, Panamá y República Dominicana, y está conformado por tres comités y una oficina de coordinación regional: 1) **Comité Regional Permanente (CRP)**, conformado por los coordinadores nacionales de maíz y CIMMYT (1 voto c/uno), autoridad máxima del PRM que funge como órgano legislativo y aprueba los planes operativos anuales; 2) **Comité Técnico**, constituido por los líderes y colíderes de los proyectos colaborativos aprobando el contenido de las actividades y proyectos; 3) **Comité de Arbitraje**, solamente para resolver conflictos de orden mayor, conformado por COSUDE, CIMMYT y el Presidente del CRP; y 4) **Coordinador Regional**, administrador a tiempo completo de la red y responsable de dar seguimiento al cumplimiento de las actividades aprobadas en los planes operativos.

El **Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)** es una organización internacional científica de investigación y enseñanza sin fines de lucro. Desde su sede en México, el centro trabaja con instituciones nacionales de investigación agrícola para mejorar la productividad y sostenibilidad de sistemas de maíz y trigo por agricultores de escasos recursos en países en vías de desarrollo. El CIMMYT es uno de 16 centros similares patrocinados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR), un consorcio de más de 50 países donantes, organizaciones internacionales y fundaciones privadas. El CGIAR es también copatrocinado por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el Banco Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP), y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas.

Cita correcta: Jorge Bolaños (Editor), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1993-1995, Vol. 5 (1997), CIMMYT-PRM, Guatemala.

ISBN: 968-6923-80-2

Descriptores AGROVOC: Zea mays; germoplasma, híbridos, variedades, fitomejoramiento, ensayos de variedades, selección, resistencia a sequía, resistencia a plagas, producción, factores de rendimiento, labranza de conservación, sistemas de cultivo, cultivo intercalado, cultivo en rotación, análisis económico, adopción de innovaciones, zona tropical, América Central, Guatemala, Panamá, Caribe.

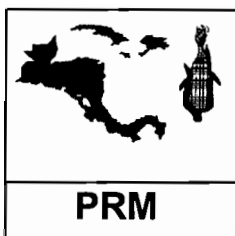
Códigos de categoría AGRIS: F30 F08

Clasificación decimal Dewey: 633.153

El Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe (PRM) es el único responsable de esta publicación.

La foto de portada es cortesía de Eugene Hettel.

Impreso en Guatemala en Marzo de 1997 por Círculo Impresor con un tiraje de 1000 ejemplares.



PROGRAMA REGIONAL DE MAÍZ PARA CENTRO AMÉRICA Y EL CARIBE

La **Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1993-1995** presenta los resultados más sobresalientes del Programa Regional de Maíz (PRM) para Centro América y El Caribe del período 1993 a 1995. El PRM es una red colaborativa de investigación con la finalidad de generar y validar tecnologías para aumentar la productividad pero con la conservación del recurso base (suelo, agua, nutrientes) de los sistemas de producción de maíz más importantes de la región. La red está conformada por nueve programas nacionales de investigación agrícola y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y es financiada por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

Este ejemplar representa el volumen 5 de la publicación conocida como el **Libro Gris**, una serie que se viene publicando casi anualmente desde 1989 por la oficina de Coordinación Regional del PRM. Su objetivo es dar a conocer los resultados experimentales más sobresalientes de los proyectos colaborativos de investigación en maíz. Sobra decir que los resultados presentados en este ejemplar pertenecen a todos y cada uno de los participantes del PRM. Cabe señalar que versiones preliminares de muchos de estos trabajos han sido presentados anteriormente en diversos foros regionales, como el PCCMCA.

Este volumen contiene 50 trabajos agrupados en cinco secciones: **1) Desarrollo, Mejoramiento y Evaluación de Germoplasma de Maíz**, con 17 trabajos que reportan los avances en el desarrollo de germoplasma de maíz, con estudios sobre el altiplano de Guatemala, el desarrollo de poblaciones con tolerancia al achaparramiento y otros insectos, y estudios en el desarrollo de líneas y combinaciones híbridas con alto y estable potencial de rendimiento. **2) Evaluación de Tecnologías para el Manejo Sostenible de los Sistemas de Producción de Maíz**, con 16 trabajos sobre la respuesta del maíz a densidad y nitrógeno, a la inserción, relevo y/o rotación con leguminosas comestibles y de cobertura, a la labranza de conservación y a diferentes métodos de aplicación de nitrógeno. **3) Estudios de Diagnóstico, Adopción e Impacto**, con 8 trabajos de diagnóstico, tecnologías para la conservación de los recursos naturales, adopción de la labranza de conservación y semilla mejorada y un trabajo sobre las estructuras de manejo postcosecha. **4) Aspectos Metodológicos**, con 6 trabajos incluyendo un estudio detallado de la patología del achaparramiento, un modelo conceptual de la productividad del maíz, estudios metodológicos y una evaluación participativa de un arreglo maíz-vigna. **5) Otras Contribuciones**, con tres trabajos externos al PRM, pero de interés regional, como son un estudio de la agroecología de las aboneras del Litoral Atlántico de Honduras y dos estudios sobre enfermedades del frijol común, estas últimas contribuciones de la red PROFRIJOL.

El contenido de cada trabajo es responsabilidad de los autores respectivos, bajo la edición técnica de Jorge Bolaños, Agrónomo Regional de CIMMYT para Centro América y El Caribe. La edición final, diseño y formateo estuvo a cargo del personal de apoyo de la oficina de CIMMYT-PRM en Guatemala, Miriam Hernández y William Quemé.

CONTENIDO

DESARROLLO, MEJORAMIENTO Y EVALUACIÓN DE GERMOPLASMA DE MAÍZ

Desarrollo de Germoplasma de Maíz para el Altiplano de Guatemala. Mario Fuentes.	3
Desarrollo de Dos Poblaciones Tropicales de Maíz con Resistencia al Complejo del Achaparramiento. Róger Urbina.	15
Evaluación de Materiales con Resistencia Múltiple a Cogollero, Barrenadores y Achaparramiento. Rafael Obando, Róger Urbina, John A. Mihm y Marcos Mendoza..	21
Adaptación de Híbridos Tropicales de Maíz de CIMMYT en Guatemala. Salvador Castellanos y Luis Larios.	26
Evaluación Regional de Cruzas Dialélicas y Predicción de Híbridos de Maíz de Grano Blanco, PRM 1994. Mario Fuentes, Luis Larios, José Luis Quemé, Carlos Pérez y Salvador Castellanos.	30
Evaluación Regional de Cruzas Dialélicas y Predicción de Híbridos de Maíz de Grano Amarillo, PRM 1994. Mario Fuentes, Luis Larios, José Luis Quemé, Carlos Pérez y Salvador Castellanos.	35
Comportamiento de Híbridos Tropicales de Maíz en Ensayos Internacionales de CIMMYT durante 1994-1995. Félix San Vicente, Surinder K. Vasal, Scott McLean, Kumar Ramanujam, Miguel Barandiaran, Antonio Ramírez y José G. Avila.	40
Avances en el Desarrollo de Líneas como Probadores en Germoplasma Tropical de Maíz. Surinder K. Vasal, Félix San Vicente, Scott McLean, Kumar Ramanujam, Miguel Barandiaran, Antonio Ramírez y José G. Avila.	45
Necesidad y Beneficios de Lotes de Evaluación de Líneas para Diversos Propósitos en el Mejoramiento Genético del Maíz. Surinder K. Vasal, Félix San Vicente, Scott McLean, Kumar Ramanujam, Miguel Barandiaran, Antonio Ramírez y José G. Avila.	50
Retos para Alcanzar el Desarrollo de Híbridos Simples de Maíz en los Países en Vías de Desarrollo. Surinder K. Vasal, Félix San Vicente, Scott McLean, Kumar Ramanujam, Miguel Barandiaran, Antonio Ramírez y José G. Avila.	56
Evaluación de Híbridos y Variedades Experimentales de Maíz de Grano Amarillo en Tres Localidades de Panamá, 1995-96. Alfonso Alvarado y Daniel Pérez.	59
Evaluación de Cruzas Simples, Mestizos y Variedades de Polinización Abierta de República Dominicana. Félix Navarro, José Ortiz, Pedro Comalat, Ramón Celado y Julio Mancego.	64
Dialelo de Variedades Dominicanas de Maíz (<i>Zea mays L.</i>). José Ortiz, Félix Navarro y Pedro Comalat.	68
Evaluación de Variedades Amarillas de Maíz. José Ortiz y Félix Navarro.	71
Evaluación en Cuba de Híbridos de Maíz de Grano Amarillo. Cecilio Torres, Ernesto Benítez y Eduardo Rodríguez.	74

Evaluación de Híbridos de Maíz (<i>Zea mays</i> L.) de Grano Blanco y Amarillo en Ambientes de Centro América, Panamá y El Caribe. Leopoldo Pixley.	77
Evaluación de Híbridos de Maíz (<i>Zea mays</i> L.) de Grano Blanco y Amarillo en Ambientes de Centro América, Panamá y El Caribe. Luis Brizuela.	84
 EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ	
Respuesta a Densidad de Siembra y Niveles de Nitrógeno de Tres Cultivares de Maíz Evaluados en Tres Localidades de Guatemala. Luis Larios, José Luis Quemé, José Luis Zea, Carlos Pérez, Salvador Castellanos y Jorge Bolaños.	95
Respuesta de Dos Cultivares de Maíz a la Densidad de Plantas, Bajo Dos Niveles Contrastantes de Nitrógeno en Panamá 1993-95. Román Gordón, Ismael Camargo, Jorge Franco, Nivaldo de Gracia y Andrés González.	101
Respuesta del Maíz al Sistema de Siembra Intercalada con <i>Canavalia ensiformis</i> a Distintas Epocas de Siembra, Azuero, 1992-94. Román Gordón, Jorge Franco, Nivaldo de Gracia y Andrés González.	106
Evaluación del Sistema de Asocio y/o Rotación del Maíz y <i>Canavalia</i> en Dos Epocas de Siembra, Panamá, 1993-94. Román Gordón, Jorge Franco, Andrés González, Nivaldo de Gracia y Adys P. de Herrera.	111
Respuesta del Maíz a la Aplicación de Diferentes Dosis de Nitrógeno en Rotación con <i>Canavalia</i> bajo dos Tipos de Labranza, Río Hato, Panamá, 1993-94. Román Gordón, Jorge Franco, Nivaldo de Gracia y Andrés González.	119
Respuesta del Maíz a la Aplicación de Diferentes Dosis de Nitrógeno en Rotación con <i>Mucuna</i> bajo Dos Tipos de Labranza, Río Hato, Panamá, 1993-94. Román Gordón, Jorge Franco, Nivaldo de Gracia y Andrés González.	126
Evaluación de Diferentes Tipos de Rastrojo Bajo Cuatro Niveles de Nitrógeno, en el Cultivo del Maíz, El Ejido, Panamá, 1994-95. Román Gordón, Jorge Franco, Andrés González y Nivaldo de Gracia.	133
Efecto de la Densidad de Siembra y Arreglo Espacial sobre la Producción de Grano y de Forraje de <i>Canavalia ensiformis</i>, Los Santos, Panamá, 1994. Domiciano Herrera, Benigno Guerrero y Román Gordón.	136
El Asocio de Maíz con <i>Canavalia</i> y sus Beneficios. José de Jesús Guzmán, Virginia Marrero y Adilen Roque.	139
Evaluación de Variedades de Vignas y su Inserción en los Sistemas de Producción de Maíz. Virginia Marrero, José de Jesús Guzmán, Adilen Roque, Benito Faure y Odile Rodríguez.	143
Evaluación de Variedades de Vigna (<i>Vigna unguiculata</i>) para Asocio con el Cultivo de Maíz en Azuero, Panamá. Román Gordón, Jorge Franco, Andrés González y Nivaldo de Gracia.	146
Síntesis de la Investigación en Labranza de Conservación con Énfasis en Luperón, República Dominicana. Rodolfo Pierre.	149

El Uso de Rastrojo de Maíz como Mantillo Superficial y sus Implicaciones en la Economía del Nitrógeno. José Luis Zea y Jorge Bolaños.	154
Eficiencia del Uso de Nitrógeno Aplicado en Forma de Urea en el Cultivo de Maíz, Azuero Panamá 1993-95. Román Gordón, Andrés González, Nivaldo de Gracia y Jorge Franco.	159
Eficiencia de Uso de Nitrógeno en el Cultivo de Maíz Bajo Distintos Métodos de Aplicación. Luis Larios, Román Gordón, Rafael Obando, Manuel Osorio, Gustavo López y Jorge Bolaños.	164
Productividad con Conservación: Estrategias para la Producción Sostenible de Maíz en Centro América. Jorge Bolaños.	170

ESTUDIOS DE DIAGNÓSTICO, ADOPCIÓN E IMPACTO

Tecnologías para Conservación y Productividad: Sustitutas o Complementarias? Gustavo Sain.	181
¿Labranza de Conservación o Conservación de Residuos? Una Evaluación del Manejo de los Residuos en México. Olaf Erenstein.	188
Estudio de Adopción de la Labranza de Conservación en el Cultivo de Maíz, en la Región de Azuero, Panamá, 1994. Adys Pereira, Gustavo Sain y Yisela Villareal.	198
Oferta y Demanda de Semilla Mejorada de Maíz en El Salvador. Cristina Choto, Gustavo Sain y Tito Montenegro.	221
Adopción y Uso de Semilla Mejorada de Maíz entre Pequeños Agricultores del Sudeste de Guatemala. Gustavo Sain, Fabio Herrera y Julio Martínez.	236
Evaluación de Cinco Estructuras de Almacenamiento de Maíz en Chimaltenango, Guatemala 1990-91. José Luis Quemé, Rolando Ochoa, Carlos Acosta, Kurt Schneider y William Quemé.	254
Evaluación de Distintas Epocas de Siembra y la Incidencia del Achaparramiento en Maíz, Azuero, Panamá, 1993-94. Román Gordón, Nivaldo de Gracia, Jorge Franco y Andrés González.	268
Dinámica y Variabilidad de los Componentes del Rendimiento en 21 Campos de Maíz en Luperón, República Dominicana. Rodolfo Pierre, Pablo Rodríguez y Jorge Bolaños.	274

ASPECTOS METODOLÓGICOS

El Achaparramiento del Maíz: Patógenos, Síntomas y Diagnóstico. Priscilla Henríquez y Dan Jeffers.	283
Un Modelo Simplificado de la Productividad Potencial del Maíz. Jorge Bolaños.	291
La Relación entre el Peso Fresco y el Peso Seco del Rastrojo de Maíz y la Etapa Fenológica del Cultivo. Marianne Bänziger, Gregory Edmeades y Jorge Bolaños.	297

Calibración en Suelos Tropicales de un Medidor de Humedad por Reflectometría. Ricardo Radulovich, Edwin Solórzano y Jorge Bolaños.	303
Primera Feria de la Labranza de Conservación en Guaymango, El Salvador. Cristina Choto, Tito Montenegro y Gustavo Sain.	307
Evaluación Participativa de un Ensayo de Arreglo Topológico Maíz-Vigna del INTA/PRM, Campo Experimental La Compañía, Nicaragua, 1995. Elvenes Vega, Adrian Maitre y Jorge Bolaños.	311

OTRAS CONTRIBUCIONES

Agroecología del Sistema de Aboneras en el Litoral Atlántico de Honduras. Bernard Triomphe.	319
Caracterización y Variabilidad de Aislamientos de <i>Thanatephorus cucumeris</i>, Agente Causal de la Mustia Hilachosa del Frijol Común en Centro América y El Caribe. Graciela Godoy-Lutz, J. Arias, Julio Nin, Freddy Saladin y D.E. Carling.	329
Identificación de Razas de <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Phaseoli</i> en Hojas de <i>Phaseolus vulgaris</i>. Mildred Zapata.	332





**DESARROLLO, MEJORAMIENTO Y EVALUACION
DE GERMOPLASMA DE MAIZ**

Desarrollo de Germoplasma de Maíz para el Altiplano de Guatemala

Mario Fuentes¹

RESUMEN

Se estima que 33% del maíz en Guatemala se siembra bajo las condiciones del altiplano, con alturas entre 1200-3000 msnm., divididas en altiplano Central y Occidental. Ambas zonas son ecológicamente contrastantes y muestran alta interacción genotipo x ambiente que contribuye a que los cultivares de maíz expresen baja estabilidad del rendimiento, características agronómicas indeseables como tardíos, excesiva altura de planta, mala ubicación de la mazorca y alta susceptibilidad al acame. El objetivo del Programa de Maíz de ICTA es generar cultivares con alto potencial de rendimiento, características agronómicas deseables y amplio rango de adaptación. La metodología del mejoramiento consistió en realizar colecciones nativas en la zona, su evaluación en ambientes contrastantes y la formación de poblaciones. El esquema de selección incluyó la evaluación de progenies en fincas de agricultores y recombinación en estaciones experimentales. Bajo este sistema se desarrollaron las poblaciones V-301, V-302, Bárcenas 71, V-304, V-305, Don Marshall y Chanin, adaptadas al altiplano Central y las poblaciones San Marceño, Guateian Xela, Compuesto Blanco, Toto Amarillo y Chivarreto para al altiplano Occidental. La selección mostró ganancias de 4.3% por ciclo para rendimiento y disminución en la altura de planta y una mejor posición de la mazorca. Las variedades mejoradas mostraron 21 y 41% de aumento en rendimiento en comparación a los materiales testigos del agricultor en ensayos de prueba en campos de agricultores, para la zona del altiplano Central y Occidental, respectivamente.

El altiplano de Guatemala está ubicado sobre la Sierra Madre y constituido por los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Huehuetenango, Totonicapán y Sololá que conforman el altiplano Occidental y Chimaltenango y Sacatepequez el altiplano Central y ocupan aproximadamente 17,711 km² (16% de la superficie del país). Se localiza en la latitud 14°39' N y longitud 90°49' W. La población del altiplano en 1985 se estimó en 2,502,868 habitantes (30% de la población nacional) y 141 habitantes por km², constituida por diversidad de grupos étnicos, bajo nivel de escolaridad, alto índice de analfabetismo (50.8%) y uso generalizado de lenguas indígenas. En la región se observa un

marcado minifundio, uso de áreas marginales para cultivos, bajos recursos económicos, subocupación de la mano de obra, canales de comercialización deficiente, migración, baja productividad agrícola y se practica una agricultura de subsistencia y de sistemas donde el maíz es el principal componente asociado con frijol, trigo, papa y cucurbitáceas (ICTA, 1987). En los últimos años, la producción especies hortícolas orientadas al mercado de exportación han cobrado mucha importancia.

Los suelos del altiplano se formaron sobre material madre de cenizas volcánicas. El relieve varía desde plano hasta fuertemente inclinado, con buen drenaje interno, la capacidad de abastecimiento de agua es regular, la fertilidad natural es alta y acusan un alto peligro de erosión. El altiplano Central está ubicado en la zona de vida bosque montano bajo. La precipitación anual es de 1588 mm, humedad relativa promedio de 80% y temperatura media de 17.9°C. Las altitudes varían entre 1300-2200 msnm. El altiplano Occidental se ubica en la zona de vida bosque húmedo montano bajo. La precipitación media anual es de 2065 mm, humedad relativa de 80% y temperatura media de 15.5°C, las altitudes varían de 2300 a 3000 msnm. (Simmons et al., 1959; IGN, 1983).

El uso potencial de la región es forestal, sin embargo se hace uso de tierra para cultivos equivalente entre el 71-93% (SER, 1990). Las modalidades tecnológicas de producción agrícola del altiplano son variables. El uso de germoplasma nativo de maíz o también llamado criollo predomina en el área y se cultiva asociado (85%) y en monocultivo (15%) (ICTA, 1977). La generalidad de los agricultores del altiplano siembran maíz en condiciones de humedad residual antes de las lluvias. La preparación del suelo se realiza inmediatamente después de la cosecha para conservar la humedad. La siembra se realiza entre marzo y abril, variando la fecha de acuerdo a la localización de la unidad de producción y ciclo de cultivo. Se han identificado 4 sistemas básicos de los sistemas productivos agrícolas del altiplano (OEA-MAGA, 1994).

Modelo A (marginales y de frontera)

Representa a los agricultores ubicados en el grupo de supervivencia. La producción es para autoconsumo y

¹ Investigador Programa Maíz-ICTA, Guatemala.

realizan trabajos fuera de la finca para satisfacer sus necesidades básicas. El área promedio de la finca es de 0.46 ha. Los principales rubros de producción son granos básicos, plantas nativas, hortalizas, especies de ganado menor y especies forestales con fines energéticos. Se observa con mayor frecuencia en Quetzaltenango y Totonicapán y menor en Chimaltenango.

Modelo B (productores pequeños internos)

Representa a los agricultores ubicados en el estrato de transición a la diversificación de cultivos. La producción es para consumo familiar y ventas de excedentes para el mercado local (a nivel de municipio). Utiliza sistemas de cultivo de granos básicos en asocio y monocultivo de hortalizas y frutales. Esta presente en el 53% de las fincas de Quetzaltenango, y en el 22%, 21% y 4% de las fincas de San Marcos, Totonicapán y Chimaltenango, respectivamente. El área promedio de las fincas es de 1.25 ha.

Modelo C (productores medianos intensivos)

Representa a los agricultores ubicados en el estrato de diversificación de la producción. La producción es

para el consumo en menor grado y en mayor escala para la venta en mercado nacional e internacional. Utiliza sistemas de cultivos granos básicos en asocio y monocultivo. El asocio Maíz-Frijol-Haba (M-F-H) se cultiva en 53% de las fincas de Chimaltenango y área promedio de 0.67 ha. En Quetzaltenango y San Marcos es menos importante. La diversificación de la producción ocurre con hortalizas de exportación y hortalizas de consumo local.

Modelo D (productores medianos extensivos)

Representa a los agricultores ubicados en el sistema de producción de transición hacia la especialización agrícola. El destino de la producción es para consumo, venta, procesamiento y exportación. El área promedio de las fincas es de 10.17 ha. Utiliza sistemas de cultivos de granos básicos en asocio y en monocultivo, hortalizas y frutales. Maíz-Frijol (M-F) se cultiva en 50% de las fincas con un área promedio de 1.43 ha y es más frecuente en Chimaltenango y menor en San Marcos y Quetzaltenango. Cultivos de exportación como brócoli y arveja china incrementan su frecuencia y área de cultivo. La descripción de los modelos y áreas en donde se practica, se presenta en el siguiente modelo:

Cuadro 1. Modelos de los sistemas productivos agrícolas del altiplano de Guatemala.

Modelo	Sistema de cultivo	% agricultores que siembran	Ha. Promedio de siembra	Frecuencia
A	M-F-H	71	0.275	Quetzaltenango, Totonicapán y menor frecuencia en Chimaltenango.
	M-F	17	0.264	
	M.monoc.	12	0.198	
B	M-F-H	64	0.510	Quetzaltenango (53%), San Marcos (22%), Totonicapán (21%), Chimaltenango (4%)
	M-F	28	0.540	
	M.monoc	8	0.480	
C	M-F-H	53	0.67	Chimaltenango (más importante); Quetzaltenango y San Marcos (menos importante)
	M-F	42	0.82	
		5		
D	M-F	50	1.43	Chimaltenango (mas frecuente); San Marcos y Quetzaltenango (menos frecuente)
	M. monoc	17	2.02	
	M-F-H	17	0.33	

M= Maíz; F=Frijol voluble (*Phaseolus vulgaris*); H=Haba (*Vicia faba*); M. monoc.= Maíz monocultivo.

Fuente: Encuesta Agrosocioeconómica, Estudio de factibilidad, Proyecto Manejo Sostenido de los Recursos Naturales para mejorar el nivel de vida de la población rural. (OEA-MAGA, 1993)

La zona del altiplano presenta variación de condiciones de topografía, fertilidad, temperatura, precipitación, suelo y amplia diversidad ambiental, lo que limita plantear recomendaciones con amplia cobertura. La mayoría de agricultores utiliza variedades nativas de maíz. El potencial de rendimiento es variable, tardíos (hasta 280 días), baja adaptación a la diversidad ambiental posiblemente al proceso de selección tan específico a que han sido sometidos a través de muchos años, excesiva altura de planta y mazorca, principalmente bajo condiciones de alta fertilidad y susceptibles al acame. El manejo agronómico del maíz varía entre agricultores y regiones. Existe diversidad de sistemas de asocio y/o relevo con otros cultivos, distancia de siembra, arreglos topológicos, fertilización, uso de abonos orgánicos, épocas de siembra, preparación del suelo, entre otros. El Programa de Maíz de ICTA concluyó en 1973 que no se podrían obtener aumentos importantes del rendimiento, si no se trabajaba en la disminución de la altura y selección de familias rendidoras para conformar poblaciones estables a través de ambientes.

La estrategia se fundamentó en reconocer la importancia de utilizar germoplasma nativo como fuente de desarrollo de cultivares adaptadas a regiones contrastantes del altiplano. Realizar colecciones de germoplasma nativo en las regiones objetivo del ICTA, evaluarlas a nivel de estación experimental y en campos de agricultores para conformar poblaciones en base a los materiales superiores en la evaluación y realizar el mejoramiento sistemático de las poblaciones a través de selección fraternal convergente hacia adaptación en ambientes contrastantes para minimizar el efecto de la interacción genotipo x ambiente (ICTA, 1975 y 1987).

El objetivo del Programa de Maíz de ICTA es evaluar la diversidad genética del germoplasma nativo e identificar materiales que sirvan de base para el mejoramiento genético del cultivo y desarrollar variedades con alto potencial de rendimiento, características agronómicas deseables y amplia adaptación a las condiciones ambientales del altiplano de Guatemala que contribuyan a maximizar la productividad del cultivo en las distintas áreas del altiplano de Guatemala.

METODOLOGÍA

El Programa de Maíz trabaja en dos estaciones experimentales del ICTA. La estación experimental del altiplano Central ubicada en Chimaltenango y con cobertura a los departamentos de Sacatepequez y

Chimaltenango para las localidades ubicadas entre 1200-2200 msnm. En el altiplano Occidental la estación Labor Ovalle ubicada en Quetzaltenango con cobertura a los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y Totonicapán cuyas localidades están entre 2300-3000 msnm. Se disponen de equipos de Prueba de Tecnología para cada zona del altiplano que apoyan las actividades del Programa de Maíz en la evaluación de germoplasma en los campos de agricultores. Para cumplir con los objetivos planteados, a partir de 1973 se diseñó el esquema del Sistema Dinámico de Mejoramiento de maíz para el altiplano (ICTA, 1976).

El sistema se basa en la evaluación de progenies en fincas de agricultores y selección en estación experimental para amortiguar los cambios ambientales a través del método de selección familiar de mazorca por surco modificado, el cual permite la acumulación de efectos aditivos para alto rendimiento, bajar altura de mazorca y planta y mejorar otras características agronómicas. Se seleccionan individuos en base a la evaluación de progenies en ensayos de rendimiento. Bolaños (1980) cita a Poey (1979) quien describe el método: se siembran las familias en por lo menos seis localidades en surcos individuales de 5 m y se les toman datos agronómicos y de rendimiento con las que al integrarlos se fundamenta el criterio de selección de familias en el lote de recombinación de la estación experimental. No se siembran repeticiones y se compensa al colocar testigos en forma sistemática para relacionar los valores obtenidos de las familias dentro de una estratificación adecuada y estandarizar el efecto ambiental. Los lotes de recombinación pueden ser de medios hermanos (MH) ó hermanos completos (HC) y cada ciclo debe producir no menos de 250 familias que serán nuevamente evaluadas en campo de agricultor en el siguiente ciclo. Las hileras por mazorca se emasculan en el bloque y se siembran hileras de machos formados por un compuesto balanceado de todas las familias de mazorca por hilera para obtener una máxima recombinación entre las familias seleccionadas y completar un ciclo cada año. Se selecciona el 20% de las familias y dentro de estas las 5 mejores plantas las cuales servirán para las pruebas del siguiente año. El diferencial de selección comprende diferencias entre y dentro de familias.

La restricción en el número de familias que pueden compararse resulta en intensidad y diferencial de selección reducida, pero se compensa por una menor desviación estándar fenotípica al controlar mejor la contribución ambiental mediante la repetición de familias en varias localidades (Bolaños, 1980).

Poey en 1977 introdujo variantes a la metodología para ampliar la base genética de las poblaciones sujetas a mejoramiento (Bolaños, 1980). A la selección de MH se le incorporan familias de origen diferente llamadas familias de soporte y se siembran junto al lote de recombinación. En la generación F_1 , estas familias se retrocruzan con la población base para recuperar las características deseables de esta. A continuación, se someten las familias a un ensayo de rendimiento en por lo menos 2 localidades para seleccionar las mejores e introducirlas a la población base y que formen parte del compuesto balanceado al recombinarlas. Se incluye 4-6% del total de familias de la población que se esta mejorando y solamente se introducen las familias con un diferencial de selección superior al 15% para capitalizar efectos aditivos. En esta etapa los efectos heteróticos aun pueden manifestarse.

A partir de 1985, se realizó un ciclo de selección recurrente de líneas S_1 en las poblaciones en mejoramiento. Se generaron 400 líneas por población y se evaluaron a nivel de estación experimental. La población se reconstituyó con el 20% de la fracción superior y se formaron variedades sintéticas con las 5 a 8 líneas superiores de la evaluación (Fuentes, 1990). Bolaños et al. (1982), cita a Molina que informa que la selección de progenies autofecundadas es recomendable cuando se requieren avances genéticos rápidos en poblaciones y las variedades presumiblemente tienen una varianza genética reducida. En la mayoría de poblaciones del altiplano, inicialmente cada una de estas, se sometieron al sistema de Unidad de Divergencia Ambiental (UDA). El sistema selecciona y recombina en dos ambientes diferentes. En alta densidad (88,000 pl/ha) se selecciona la capacidad de competencia de la planta y en la baja densidad (44,000 pl/ha) el potencial de rendimiento. Las polinizaciones se realizan en baja densidad. Durante el período vegetativo se seleccionan las plantas de acuerdo a su fenotipo y a la cosecha se evalúan por su comportamiento. Se selecciona hasta 20% de familias superiores. Bajo este sistema se han seleccionado familias que con menor altura de planta en 1 m y mayor precocidad (15-30 d) en la zona del altiplano (ICTA, 1977).

RESULTADOS

La base de las poblaciones de maíz generadas para el altiplano proviene de germoplasma nativo y colectado en diferentes zonas geográficas de la región por el Programa de Maíz y los Equipos de Prueba de Tecnología, el cual ha sido evaluado extensivamente y utilizado como material base y/o soporte. Se estima que

se han evaluado un total de 829 colecciones nativas para el grupo de grano amarillo y 483 para grano blanco (Barrios, 1969; ICTA, 1975; Fuentes, 1986). El Cuadro 2 presenta el origen, localidad de colecta, último ciclo de selección, color y adaptación de las poblaciones de maíz formadas a partir de la evaluación de germoplasma nativo. La población San Marceño, Guateian Xela y Compuesto Blanco fueron generados por el Programa de Investigación del Instituto Agropecuario Nacional (IAN) y sometidas posteriormente al proceso de selección planteado por ICTA. En el altiplano central se evaluaron 95 colecciones de maíz de la región. Los 10 mejores criollos superaron al testigo Bárcenas-71 y V-301 (3019 y 3845 kg/ha) en 41 a 71% (4269 y 5162 kg/ha) (datos no presentados) (ICTA, 1977). La fracción superior se evaluó durante dos años consecutivos (1977-78) en 10 y 9 localidades, respectivamente (Cuadro 3).

El Criollo 34 Amarillo Patzicia, Criollo 48 y 89 Amarillo Balanyá, se identificaron con mejor potencial de rendimiento hasta de 4580 kg/ha, estables ($b_i=1$ y $S^2d_i=0$), características agronómicas deseables y superan en 20% a las variedades mejoradas y 500 kg/ha a la media de las mejores variedades criollas. Con los resultados obtenidos se recomendó la formación de la población V-304 en base a los Criollos 34, 48 y 89. Las variedades Criollo Blanco 5-76 y Criollo 4 Amarillo Chimaltenango fueron los superiores en áreas del valle de Chimaltenango con 5100 y 4800 kg/ha y superaron en 14 y 10% al criollo local. El Criollo Blanco 5-76 se constituyó en soporte de la población V-301 y el Criollo 4 amarillo Chimaltenango conformó a la población V-302. La evaluación permitió definir adaptación de las variedades criollas en base a áreas homogéneas por lo que el altiplano central se subdividió en dos áreas alta y baja (1300-1800 y 1800-2200 msnm) (ICTA, 1979). El Cuadro 4 presenta la fracción superior del germoplasma de maíz evaluado durante los años 1977-78 a través de 31 localidades del altiplano Occidental. Las variedades San Marceño y Criollo 252-76 fueron identificados como estables. El rendimiento superó a los criollos locales hasta en 590 kg/ha en las localidades de Quetzaltenango. Los parámetros de estabilidad $b_i=1$ y $S^2d_i=0$ confirman su estabilidad. San Marceño promedio 5510 kg/ha y superó al Criollo 605-76 en 660 kg/ha en la subregión de Quetzaltenango y ocurrió lo contrario en la región de Totonicapán donde el Criollo 605-76 superó en 720 kg/ha a San Marceño. En base a esta evaluación se delimitó el área de adaptación de San Marceño y se recomendó formar la población Toto Amarillo en base al germoplasma del Criollo 605-76 y someterla al proceso de mejoramiento.

Cuadro 2. Poblaciones de maíz para el altiplano Central y Occidental de Guatemala.

Población	Origen	Localidad colecta	Ciclo selección	Color	Adaptación m.s.n.m
Altiplano Central					
V-301	Criollo Blanco	Bárcenas	C ₁₈	Blanco	1400-1800
V-302	Criollo 4	Parramos	C ₉	Amarillo	1400-1800
Bárcena 71	Criollo Grushin	San José Pinula	C ₁₃	Amarillo	1400-1800
Don Marshall	Criollos superiores	Varios	C ₁₅	Amarillo	1400-1800
Don Marshall	Segregantes blancos	varios	C ₃	Blanco	1400-1800
Chanin	Criollos locales, Pool 29, 33 y Amarillo Bajío	varios	C ₁₅	Amarillo	1400-1800
	Criollo 34	Patzicia	C ₉	Amarillo	1800-2000
V-304	Criollo 48	Balanyá		Amarillo	
	Criollo 89	Balanyá		Amarillo	
V-305	Criollo Blanco	Patzún	C ₇	Blanco	1800-2000
Altiplano Occidental					
San Marceño	Criollos locales	San Marcos	C ₁₁	Amarillo	2400-2500
Guateian Xela	Criollos locales	Quetzaltenango	C ₉	Amarillo	2200-2500
Compuesto Blanco	Criollos locales	Chimaltenango	C ₄	Blanco	2200-2500
Toto Amarillo	Criollo 605-76	Totoncapan	C ₁₀	Amarillo	2500-2900
Chivarreto	Criollo 612	San Francisco El Alto	C ₈	Amarillo	2500-2900

FUENTE: Informes Técnicos Programa Maíz 1977-84; Fuentes, A y Godoy, N, 1995 (comunicación personal); Programa de Maíz, 1991. Taller de Planificación.

Cuadro 3. Medias de rendimiento (kg/ha) y parámetros de estabilidad de variedades nativas de maíz adaptadas al altiplano Central de Guatemala. 1977-78.

Genotipo ^{1/}	1997 (10 loc.)			1978 (9 loc.)			Genotipo ^{2/}	1978 (8 loc.)		
	kg/ha	bi	S ² d	kg/ha	bi	S ² d		kg/ha	bi	S ² d
Criollo 89 Am. Balanyá	4063	1.12ns	0.41**	4580	1.14*	0.00ns	Criollo Blanco 5-76	5100	1.80*	0.04ns
Criollo 48 Am. Balanyá	4005	0.99ns	0.71**	4320	0.97ns	0.00ns	Criollo 4 Am. Chimaltenango	4800	1.17*	0.0 ns
Criollo 34 Am. Patzicia	3853	0.91ns	0.14ns	4270	0.99ns	0.03ns	V-301	4500	0.71*	0.0 ns
Criollo 78 Bl. Tecpán	3739	1.51**	0.27*	4060	1.83*	0.02ns	Criollo Blanco 14-76	4400	1.11ns	0.09ns
Criollo 76 Am. Tecpán	3702	1.15ns	0.03ns	4010	1.20**	0.01ns	Criollo Local	4400	1.25*	0.52*
Criollo 39 Am. Comalapa	3699	1.15ns	0.04ns	4380	0.84 *	0.03ns	Criollo Amarillo 3-77	4200	1.41*	0.09ns
Criollo 70 Am. Tecpán	3667	0.93ns	0.04ns	4000	0.95ns	0.06ns	Criollo Amarillo 9-77	4100	1.34*	0.26*
Criollo 4 Am. Chimaltenango	3618	0.90ns	0.81**	3680	1.20*	0.12*	Criollo Amarillo 16-77	4100	1.46*	0.0 ns
Criollo local	3445	0.86ns	0.43**	3950	0.94*	0.02ns	Criollo 39 Am. Comalapa	3900	1.33*	0.0 ns
Criollo 57 Am. Sta. Apolonia	3294	1.13ns	0.03ns	4170	1.18*	0.00ns	Criollo 89 Am. Balanyá	3900	1.23*	0.07ns
V-301	3426	0.53**	0.74**				Criollo 34 Am. Patzicia	3800	1.35*	0.00ns
San Marceño	3373	0.59**	0.12ns	3750	1.13*	0.37**	Criollo 48 Am. Balanyá	3800	0.84*	0.05ns
Bárcena 71	3341	0.66**	0.28*				Bárcena 71	3500	1.25*	0.0 ns
Guateian Xela	2595	0.34**	0.22*				Sintético Amarillo	2600	0.92ns	0.07ns

Genotipo^{1/} y ^{2/}=Evaluados en localidades ubicadas entre 1800-2200 (Zona alta) y 1300-1800 (Zona baja) m.s.n.m., respectivamente; bi=Coefficiente de regresión; S²di=Desviación de regresión; *,**=Significativo al 1 y 5%, respectivamente; ns=No significativo. FUENTE: Informe Anual 1978-79. Programa de Maíz.

Cuadro 4. Medias de rendimiento (kg/ha), parámetros de estabilidad y análisis combinado (1977-78) en la evaluación de criollos de maíz adaptados a las condiciones del altiplano Occidental de Guatemala.

Genotipo	1997					1978				
	Quetzalt. (9 loc.)	Totonic. (7 loc.)	Media (16 loc.)	bi	S ² di	Quetzalt. (17 loc.)	Totonic. (14 loc.)	Media (31 loc.)	bi	S ² di
San Marceño	6588	4365	5476	0.96ns	0.25*	5510	4620	5065	0.95ns	0.00
Criollo 251-76	6526	4906	5716	1.11ns	0.01ns	5440	4780	5110	1.15*	0.00
Criollo 252-76	6524	4824	5674	0.92ns	0.01ns	5350	4790	5070	1.05ns	0.00
Criollo 314-75	6439	5047	5743	1.15*	0.31**	5230	4560	4895	1.23*	0.00
Comp. Blanco	6447	4636	5542	1.16*	0.48**	5200	4810	5005	1.14*	0.00
Criollo 622-76	6207	4383	5295	1.03ns	0.10ns	5120	4820	4970	0.64**	1.07*
Criollo 154-76	6245	4365	5305	1.07ns	0.23*	5070	4400	4735	1.04ns	0.00
Criollo local	5768	4657	5212	0.96ns	0.34**	4920	4680	4800	—	—
Criollo 605-76	6392	5099	5746	1.04ns	0.09ns	4850	5340	4595	0.67**	0.00
Guateian Xela	5503	3807	4655	0.87*	0.10ns	4680	3870	4275	0.73**	0.00
Bárcena 71	4665	2428	3547	0.98ns	0.48**					
Media	5873	4615	5244							

Quetzalt.=Quetzaltenango; Totonic.=Totonicapán; bi=Coefficiente regresión; S²di=Desviación de regresión; *,**= Significativo al 1 y 5% de probabilidad, respectivamente; ns=No significativo. FUENTE: ICTA, 1987. Taller Diagnostico al Programa de Maíz del Altiplano.

Cuadro 5. Medias de rendimiento (kg/ha) de variedades superiores de maíz evaluadas en ambientes altos y bajos del altiplano Occidental de Guatemala.

Variedad	1978		1979		1980		1981		1982		Media	% C.L.
	P.A.	P.B.	P.A.	P.B.	P.A.	P.B.	P.A.	P.B.	P.A.	P.B.		
San Marceño	5510	5544	5550	6120	4440	5820	4200	3850	3630	4630	4820	114
Toto Amarillo	6150	5570	3470	5780	4441	4340	4130	3760	3460	4400	4550	108
Guateian Xela	4920	4670	3050	5070	4180	4180	3590	3080	3330	3500	3960	94
Testigo local	3780	4750	3010	5950	4110	4590	4230	3710	3620	4510	4230	100
ICTA 612					5060	4530	4090	3380	4000	4100	4190	99
Criollo D. López					4630	4840	4060	3930	3520	4340	4220	100
Criollo M. Yax					4220	4740	4150	3940	3410	4110	4100	97
Criollo F. López									3690	4820	4260	100
Criollo M. Faustino									3640	4750	4200	99

P.A= Parte alta; P.B= Parta baja, % C.L= Porcentaje sobre criollo local.

FUENTE: Programa Maíz, 1987. Taller de Diagnostico al Programa de Maíz del Altiplano de Guatemala.

El Cuadro 4 presenta las medias de rendimiento de las variedades y criollos superiores identificados para el altiplano occidental evaluados a través de diferentes localidades en finca de agricultor entre 1978-82. Las variedades mejoradas superaron en promedio hasta en 14% al testigo local. Prueba de Tecnología evaluó diferentes variedades criollas a través de diferentes ambientes ubicados entre 2600-2800 m.s.n.m distribuidos en Quetzaltenango, San Marcos y Totonicapán. El Criollo 612 mostró un rendimiento consistente a través de años en evaluaciones en la zona alta del altiplano Occidental (4000-5060 kg/ha). En 1982 este material conformó la base la población Chivarreto (ICTA, 1987).

La Unidad de Prueba de Tecnología y el Programa de Maíz constantemente evalúan germoplasma nativo. Las evaluaciones incluyen germoplasma local y de zonas adyacentes para identificar el superior y utilizarlo como introducciones. La metodología permitió identificar colecciones con rendimiento similar y/o superior a los testigos, menos días a floración femenina y se han utilizado como soporte en las poblaciones generadas (ICTA, 1987, 1988, 1989).

El progreso de selección obtenido por la metodología de mejoramiento en las poblaciones de maíz se presentan en el Cuadro 5. En el altiplano central los ciclos de selección de las poblaciones V-301 y V-302 evaluadas a través de 4 localidades indican que en total se capitalizó 10% en rendimiento e incrementos de 440 y 410 kg/ha, respectivamente. El método seleccionó plantas de menor altura, mejor posición de mazorca y menor días a floración. La altura de la planta y de la mazorca se redujo 86 y 40 cm en la población V-301 y 12 días menos a floración femenina. Para V-302 la altura de planta se redujo 40 cm y no afectó a la altura de mazorca. Los días a floración femenina disminuyeron 12 días. En general las restantes características agronómicas son uniformes (Fuentes y Landaverry, 1987). La evaluación de ciclos de selección en las poblaciones del altiplano occidental indican incrementos por ciclo de selección de 4.2, 4, 4.3, 1.7 y 1.1% en San Marceño, Compuesto Blanco, Guateian Xela, Toto Amarillo y Chivarreto, respectivamente. Representa incrementos totales de 1144, 1252, 671, 430 y 280 kg/ha sobre la media original. La altura de planta y de mazorca de San Marceño se redujo 30 y 28 cm y se mejoró el porcentaje de mazorcas con buena cobertura, no así en las otras poblaciones (Orozco, 1981; Avila y Fuentes, 1987).

Las características agronómicas de las variedades derivadas de las poblaciones en mejoramiento se presentan en el Cuadro 7. Se ha obtenido mayor

rendimiento, uniformidad en relación a altura de planta y de la mazorca, sanidad foliar y menor número de días a floración.

Las variedades Don Marshall y Chanin formadas con germoplasma local e introducciones del CIMMYT, son precoces y de porte bajo (dos meses más precoces que los criollos, 1.5 m más bajos) se desarrollaron para el altiplano central. Se utilizan en cultivos asociados y siembras intercaladas con mejores ventajas que las variedades criollas. Al sembrar en marzo permite cosechar en agosto y sembrar trigo y/o hortalizas en segunda, lo que intensifica e incrementa la productividad del sistema (Córdova y Poey, 1980).

Se realizaron cruzamientos interpoblacionales como alternativa de ampliar la base genética e incluirlas como generaciones avanzadas dentro de las poblaciones en mejoramiento y seleccionar hacia rendimiento, precocidad y adaptación (ICTA, 1977 y 1979; Bolaños, 1980). Algunos resultados presentaron perspectivas de uso. Cruzamientos intervarietales realizados en Chimaltenango en 1977 indican heterosis hasta de 25 y 44% sobre V-301 y Bárcena-71 al cruzarlos con Mix 1 Tuxpeño (ICTA, 1977). Materiales de maíz del altiplano central cruzados con fuentes de precocidad y porte bajo introducidos del CIMMYT entre ellos Pool 27, Pool 34, Pool 33, Amarillo Bajillo, Amarillo Bajillo x mezcla tropical blanca, Aed x Tuxpeño presentaron entre 75-100 días a floración femenina y se incorporaron como material de soporte de la población Chanin (Bolaños, 1980). Cruzamientos de San Marceño y Compuesto Blanco con materiales locales e introducidos expresaron rendimientos que superan entre 17 y 27% a San Marceño y entre 12-22% al Compuesto Blanco. El mestizaje entre materiales de zona media y alta mostraron heterosis que superan hasta en 44% a San Marceño que fue el mejor testigo. Los mejores rendimientos se obtuvieron entre Compuesto Blanco-18 x V-301, (B-71 x San Marceño) F2 (ICTA, 1977).

Cruzamientos intervarietales entre variedades criollas del altiplano occidental con materiales del CIMMYT, no presentaron diferencias significativas ni mejora en características agronómicas de las cruces intervarietales con respecto a San Marceño y Compuesto Blanco. Las cruces intervarietales presentaron 20 días menos en floración en relación a Guateian Xela, pero no superaron el rendimiento (ICTA, 1979). El CIMMYT ha desarrollado germoplasma de maíz para condiciones de altiplano. Evaluaciones preliminares indican bajo rendimiento, alta incidencia de enfermedades foliares e inadaptación en relación a los testigos en condiciones del altiplano de Guatemala (ICTA, 1979).

Cuadro 6. Rendimiento, diferencial de selección y características agronómicas de poblaciones de maíz del altiplano Central y Occidental de Guatemala.

Población	Rendimiento				Altura (cm)		% Mazorcas		
	Ciclo	kg/ha	%	Días Flor	Planta	Mzca.	Descubierta	Podrida	% Acame raíz
Altiplano Central^{1/}									
V-301	C ₀	4000	100	125	312	195	—	—	21
	C ₁₀	4230	106	113	237	121	—	—	11
	C ₁₂	4440	110	113	226	115	—	—	14
V-302	C ₀	4130	100	126	300	144	—	—	25
	C ₆	4530	110	114	253	128	—	—	14
	C ₈	4540	110	114	260	142	—	—	10
Altiplano Occidental^{2/}									
San Marceño	C ₀	5478	100	127	255	148	8	4	8
	C ₁	5688	104	127	248	144	8	5	6
	C ₃	6238	114	130	228	124	7	4	6
	C ₅	6622	121	124	225	120	5	5	6
Comp. Blanco	C ₁	6180	100	121	229	143	5	4	7
	C ₃	6450	104	127	243	145	6	4	11
	C ₅	7432	120	123	235	136	7	5	2
Guateian Xela	C ₀	5027	100	116	199	112	4	6	14
	C ₁	5301	105	124	220	119	5	8	7
	C ₃	5698	113	114	209	113	5	6	7
Toto Amarillo	C ₀	3480	100	134	173	84	—	6	7
	C ₃	3650	105	137	180	91	—	4	9
	C ₇	3910	112	134	180	94	—	4	8
Chivarreto	C ₀	3390	100	134	182	88	—	4	8
	C ₂	3850	114	132	190	99	—	3	8
	C ₇	3670	108	133	174	86	—	3	4

FUENTE: ^{1/}Informe Técnico, Programa de Maíz, 1987; ^{2/}Orozco, C., 1981. Tesis de Grado, USAC; Informe Técnico, Programa de Maíz, 1989.

Evaluaciones posteriores con nuevo germoplasma presentaron buen comportamiento agronómico y tolerantes a enfermedades foliares. Destacaron los materiales Pool 12a, Comp. I QPM y Pool 13a con rendimientos entre 5769 y 6776 kg/ha, menor altura de planta y de mazorca y superan hasta en 18% al testigo Toto Amarillo que rindió 5714 kg/ha (Bolaños y Avila, 1987). Para el altiplano central los materiales Pool 1A, Pool 9A, Pool 9B, Batan 8788, Batan 8736 al mestizarse con las variedades Don Marshall blanco y amarillo y Chanin rindieron hasta 7890 kg/ha que equivale a un 35% superior a la variedad Don Marshall y 94 días a floración femenina (Alarcón y Fuentes, 1991).

La parcela de prueba constituye poner en manos del agricultor la alternativa tecnológica, manejada por éste para que la evalúe en comparación con su tecnología tradicional. Para el altiplano Central las variedades evaluadas a través de diferentes localidades y años superan a la variedad del agricultor en 370 a 520 kg/ha (12-18%). Mientras que para el altiplano Occidental los rendimientos sobre la variedad del agricultor lo superan entre 240-968 kg/ha (6-27%). Los datos se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 7. Rendimiento (kg/ha) y características agronómicas de variedades para el altiplano de Guatemala.

Variedad	Altura (cms)			% acame			% Mazorcas	
	kg/ha	Días Flor	Planta	Mzca.	Raíz	Tallo	Descubiertas	Podridas
Altiplano Central								
V-301	5100	117	259	143	12	5	4	5
V-302	4921	123	282	154	19	6	5	6
Bárcena 71	3341	127	223	126	12	5	5	6
V-304	4918	117	263	133	4	4	4	2
V-305	5384	126	267	155	12	5	5	3
Don Marshall Amarillo	4100	100	185	86	5	1	3	14
Chanin	4587	97	206	102	3	0	4	7
Altiplano Occidental								
San Marceño	6622	124	225	120	11	0	5	5
Comp. Blanco	7432	123	235	136	12	5	7	5
Guateian Xela	5698	114	209	113	10	5	5	6
Toto Amarillo	5404	117	221	126	13	5	5	7
Chivarreto	6724	136	221	127	19	5	2	1

FUENTE: ICTA, 1977; 1982; 1987; 1988 y 1989. Informe Técnico del Programa de Maíz.

El Proyecto de Generación, Transferencia de Tecnología y Producción de Semillas (PROGETTAPS) se inició en 1987, fue concebido para consolidar los servicios de investigación y transferencia de tecnología que presta el Sector Público Agrícola. La ejecución del proyecto fue responsabilidad de ICTA y Dirección General de Servicios Agrícolas (DIGESA) para el componente agrícola. El proyecto integró en el proceso de investigación y transferencia de tecnología a investigadores, transferencistas y agricultores. Cada unidad que integró a estos agentes se denominó módulo y formado por un investigador de Prueba de Tecnología de ICTA, un promotor agrícola de DIGESA y diez representantes agrícolas (RA), quienes participaron activamente en trabajos de prueba, adopción, integración y transferencia de tecnología y generaron un efecto multiplicador (Reyes, 1990; Córdova, et al., 1992). Con esta estructura se transfirieron las variedades de maíz generadas para el altiplano (Cuadro 8) y entre 1987-88 se condujeron 469 parcelas de transferencia bajo condiciones de monocultivo y asocio (M-F), en otros casos se transfirió fertilización química.

En el altiplano Central, la diferencia en rendimiento de la tecnología propuesta en relación a la del agricultor varió entre 96 a 1475 kg/ha. Se observaron diferencias al

evaluarlas bajo condiciones de asocio y monocultivo de 248 y 1571 kg en V-301 y V-302. En el altiplano Occidental la diferencia en rendimiento osciló entre 300-1209 kg/ha. Estos datos confirman el potencial de rendimiento de las variedades generadas por el Programa de Maíz y su adaptación a diferentes condiciones ecológicas y de manejo agronómico bajo condiciones del agricultor.

Dentro de las estrategias y mecanismos para apoyar la transferencia de tecnología, el PROGETTAPS desarrolló la actividad de producción artesanal de semilla mejorada. Los agricultores, cuyas áreas de producción se encuentran aisladas en laderas con suelos pobres, no tienen acceso a la semilla proveniente de los sistemas convencionales de producción de semilla. Uno, porque no son sujetos de crédito; y dos, porque la industria semillera no se interesa por esas áreas, debido a que las ganancias no son atractivas (Córdova, 1990). Esta actividad la ejecutaron técnicos de DIGESA, en apoyo a pequeños productores en áreas donde no existe disponibilidad de semilla mejorada. Este sector hace disponible y accesible en suficientes cantidades la semilla de interés de los pequeños productores.

Cuadro 8. Rendimiento (kg/ha) de Parcelas de Prueba y Parcelas de Transferencia evaluadas a través de diferentes años y localidades del altiplano de Guatemala.

Variedad en Parcela de Prueba	Año	No. P.P	Rendimiento			Variedad en Parcela Transferencia	Año	No. P.P	Rendimiento		
			ICTA	Agric.	Dif.				ICTA	Agric.	Dif.
Altiplano Central											
V-301	1981	4	3463	3093	370	V-301 (M)	1987	62	2968	2188	780
V-304	1981	6	4173	3722	451	V-301 + (F) (M)	1988	32	2930	2261	669
V-304	1986	19	3993	3617	376	V-301 + (F) (A)	1988	21	2790	2369	421
V-304	1987	9	4221	3728	493	V-302 (M)	1987	21	3299	2408	891
V-305	1988	13	3420	2900	520	V-302 + (F) (M)	1988	15	3479	2004	1475
						V-302 + (F) (A)	1988	12	2047	2143	-96
						V-304 (M)	1987	99	3618	3380	238
						V-304 + (F) (M)	1988	57	3147	2420	727
Altiplano Occidental											
San Marceño	1977	45	3482	2645	837	San Marceño + (F) (M)	1988	24	3559	2846	713
Compuesto Blanco	1977	45	3491	2645	846	Compuesto Blanco (M)	1988	52	3800	3500	300
San Marceño	1978	58	4621	3653	968	Chivarreto + (F) (M)	1988	22	3270	2061	1209
Guateian Xela	1978	58	4100	3200	900	Chivarreto (M)	1988	52	3551	3034	517
Chivarreto	1985	54	3650	3210	440						
Chivarreto	1986	14	4180	3940	240						

P.P=Parcela de Prueba; P.T=Parcela de Transferencia; (F)=Fertilización; (M)=Monocultivo; (A)=Asocio.

Fertilidad recomendada por ICTA para el Altiplano Central y Occidental= 90-40-0 y 90-30-0 kg/ha NPK, respectivamente; Fertilidad Agricultor=variable.

FUENTE:Prueba de Tecnología (PT) Chimaltenango, 1981, 1987, 1988; P.T., Quetzaltenango 1986; P.T. Sololá 1986. Informes Técnicos; Cuatro Años de Investigación sobre Maíz en Guatemala (Córdova, H y Poey, F., 1980); ICTA, 1987 y 1988. Resúmenes de Trabajos Técnicos del PROGETTAPS.

El desarrollo de esta nueva industria semillera se realizó dentro de los propios núcleos de pequeños agricultores; identificando como mini-empresarios potenciales a aquellos agricultores que produjeran semilla para autoconsumo, con lo cual se propiciaría que la semilla producida a nivel de estas comunidades tuviese una fuerte posibilidad de quedarse entre los agricultores de esos mismos lugares (Córdova, et al., 1992). Entre 1987-88 se condujeron 40 y 76 parcelas de semilla artesanal en el altiplano central y occidental, respectivamente, distribuidas en diferentes localidades (Godínez, et al., 1990 y Reyes, 1993).

Reyes (1993) y Godínez et al. (1990), informan sobre la evaluación de la adopción de las variedades transferidas a través de PROGETTAPS en los primeros dos años de ejecución del proyecto para el altiplano. Los agricultores se clasificaron en cuatro poblaciones: los agricultores que condujeron parcelas de transferencia;

agricultores que condujeron parcelas de semilla artesanal; agricultores que no condujeron parcelas, pero participaron en actividades de promoción; y los agricultores que no han participado en la ejecución del PROGETTAPS. La medición de la adopción de la tecnología se estimó en base al porcentaje de agricultores que emplearon las variedades recomendadas y el porciento del área de maíz en que estas fueron sembradas, se estimó el coeficiente Efecto Multiplicador Estimado (EFE) y los diferentes factores que inciden en la adopción se analizaron en función de regresión múltiple (Reyes y García, 1990; Reyes, 1993). Para el altiplano central se determinó la adopción de variedades en el 53% de los agricultores que han participado en las actividades de transferencia y 48% de agricultores que han participado en actividades de promoción. En el altiplano occidental 57% de los agricultores que participaron en parcelas de transferencia y de semilla y 59% de agricultores que participaron en actividades de

promoción. La conducción de parcelas de semilla acusa el efecto favorable más fuerte y conjuntamente con parcelas de transferencia registran un efecto multiplicador de 2.55 y 0.96 para altiplano central y occidental. En la adopción de variedades de maíz incide la conducción de parcelas de semilla, el tamaño de la familia, la actividad económica principal del agricultor. Las giras y reuniones no fueron más eficientes que otros mecanismos de promoción que emplearon los RA, tales como, ubicar las parcelas en lugares visibles o comunicación personal con los agricultores. La disponibilidad de semilla desempeñó un papel clave en la adopción de variedades y existen márgenes potenciales de adopción que no fueron cubiertos por no existir semilla en el campo.

CONCLUSIONES

1. La investigación en base al uso de germoplasma nativo para el desarrollo de variedades de polinización libre ha sido efectivo y obtenido logros significativos en rendimiento, adaptación y características agronómicas.
2. La respuesta al método de selección familiar modificó positivamente al rendimiento y equivale a incrementos totales de 440 y 410 kg/ha para V-301 y V-302 del altiplano central y 1144, 1252, 671, 480 y 280 kg/ha en San Marceño, Compuesto Blanco, Guateian Xela, Toto Amarillo y Chivarreto del altiplano occidental, respectivamente.
3. Se redujo significativamente la altura de la planta y posición de la mazorca en las poblaciones V-301, V-302 y San Marceño hasta en 86 y 80 cm.
4. La evaluación de variedades mejoradas en parcelas de prueba y de transferencia superan al testigo local en 968 y 1478 kg/ha, respectivamente.
5. El desarrollo de variedades precoces es una alternativa con potencial de uso en los sistemas de producción para uso intensivo del suelo e incrementa la productividad.
6. La adopción de variedades mejoradas fue del 53 y 57% en agricultores que participaron en actividades de transferencia de tecnología y registraron un efecto multiplicador de 2.55 y 0.96 para el altiplano central y occidental.
7. La producción artesanal de semilla para el pequeño productor es un mecanismo que influye en la disponibilidad y adopción de variedades mejoradas.

REFERENCIAS

- Alarcón, H. y M.R. Fuentes. 1991. Determinación de aptitud combinatoria general de germoplasma introducido y sus efectos en la formación de híbridos de maíz. In. Informe Técnico Programa Maíz Región V. Chimaltenango, Guatemala. s.p.
- Avila, A. y M.R. Fuentes. 1987. Efecto de la selección familiar en cinco poblaciones de maíz del altiplano occidental de Guatemala. En Informe Técnico Programa de Maíz Región I.
- Barrios Berreondo, R. 1969. Evaluación de maíces criollos como fuente de germoplasma en el altiplano de Guatemala. Tesis Perito Agrónomo. ITA. Bárcenas, V.N. Guatemala. 51 p.
- Bolaños Martínez, J.A. 1980. Selección familiar convergente aplicada a una población de maíz del altiplano medio de Guatemala. Tesis de Grado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 55 p.
- Córdova, H. 1990. Desarrollo y mejoramiento para resistencia a factores adversos bióticos y bióticos y producción de semillas. Estrategias y Logros. In: Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma para Resistencia a Factores Adversos Bióticos y Abióticos. PRM. Guatemala 1-15 p.
- Córdova, H, J.L. Quemé y P. Rosado. 1992. Producción artesanal de semilla de maíz para el pequeño agricultor en Guatemala. 2a. Edición. 27 p.
- Córdova, H. y F. Poey. 1980. Cuatro años de investigación sobre maíz en Guatemala. Informe final. Proyecto USAID-Gobierno de Guatemala 59 p.
- Godínez, L., M. Tucux, G. Mejía y L. Juárez. 1990. Estudio de adopción de la tecnología transferida por el sistema modular del PROGETTAPS en Quetzaltenango y Totonicapán, 1988-89. ICTA. Guatemala. 88-120 p.
- Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, 1976. Informe Anual Junio 1974-Julio 1975. 258 p
- Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, 1976. Equipo de Producción A. Informe Anual 1975-76. Prueba de Tecnología Región I. 119 p.
- Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, 1977. Informe Anual Programa de Maíz. 213 p.
- Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, 1978. Informe Anual Programa de Maíz. 213 p.
- Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, 1979. Informe Anual Programa de Maíz. 217 p.
- Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, 1986. Resúmenes de trabajos Técnicos. Guatemala. Tomo I. 200 p.

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, 1987. Resúmenes de trabajos Técnicos. Guatemala. Tomo I. 258 p.

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, 1988. Resúmenes de trabajos Técnicos, Guatemala, Tomo II, p. 292-566.

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, 1987. Evaluación de la variedad de maíz V-304 y la recomendación de fertilización del ICTA por medio de ensayos agroeconómicos en condiciones de ladera y en 9 localidades del departamento de Chimaltenango. Informe Técnico Prueba de Tecnología Región V. sp.

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, 1987. Taller de diagnóstico al Programa de Maíz del altiplano. Chimaltenango Septiembre 11. s.p

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, 1987, 1988, 1989. Informes Técnicos del Programa de Maíz. Región V. Chimaltenango. s.p.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). 1983. Diccionario Geográfico de Guatemala. Guatemala. Tipografía Nacional.

Fuentes López, M.R. 1986. Evaluación de 111 colecciones del Proyecto LAMP. In: Informe Técnico Programa de Maíz. sp.

Fuentes, M.R. y E. Landaverry. 1987. Efecto de Selección Familiar sobre el rendimiento y características agronómicas. In: Informe Técnico Programa Maíz. Región V. Chimaltenango, Guatemala. s.p.

Fuentes López, M.R. 1990. Avances en el programa de mejoramiento para precocidad y rendimiento en la población de maíz Don Marshall grano amarillo. XXXVII Reunión Anual del PCCMCA. Panamá. s.p.

Organización de los Estados Americanos-Ministerio de Agricultura y Ganadería (OEA-MAGA). 1994. Proyecto Manejo Sostenido de los Recursos Naturales para Mejorar el Nivel de vida de la Población Rural. Diagnóstico, versión preliminar. Guatemala. 236-263 p.

Orozco, C. 1981. Respuesta a la selección familiar en tres poblaciones de maíz del altiplano occidental de Guatemala. Tesis de Grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. 62 p.

Reyes Hernández, M. y S.S. García. 1990. La adopción de la tecnología transferida a través del PROGETTAPS para los cultivos de maíz, frijol arbustivo, trigo, papa y crucíferas: Una evaluación de los primeros dos años de ejecución del proyecto en Chimaltenango. En: Adopción de variedades mejoradas de maíz: La experiencia del PROGETTAPS en Chimaltenango en 1987-88. Tikalia Vol XI No. 1 y 2. Pag. 57-75. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía.

Reyes Hernández, M. 1993. Adopción de variedades mejoradas de maíz: La experiencia del PROGETTAPS en Chimaltenango en 1987-88. Tikalia Vol XI No. 1 y 2. Pag. 57-75. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía.

Desarrollo de Dos Poblaciones Tropicales de Maíz con Resistencia al Complejo del Achaparramiento

Róger Urbina¹

RESUMEN

El complejo del achaparramiento se ha establecido en forma endofítica en las regiones tropicales bajas de Centro América. Esta enfermedad es causada por micoplasmas, espiroplasmas y el virus del rayado fino, y representa un peligro potencial para la producción de maíz en la región. Dentro de este contexto, el Programa Regional de Maíz (PRM) lleva a cabo un proyecto colaborativo para desarrollar cultivares con resistencia a la enfermedad y buen potencial de rendimiento. Bajo un esquema de selección recurrente de líneas S_1 - S_2 , se están mejorando las poblaciones Tropical Tardía Blanca Dentada (Pob. 73) y Tropical Intermedia Blanca Cristalina (Pob. 76), las cuales están en el quinto y tercer ciclo de mejoramiento, respectivamente. La generación de líneas S_1 , su avance a S_2 , la recombinación de la mejor fracción de cada población y la formación de las variedades sintéticas experimentales se hace en El Salvador y Nicaragua en forma independiente. Sin embargo, la evaluación de las líneas se efectúa en ambos países en la época normal de siembra y bajo condiciones con una presión natural elevada de la enfermedad. Los productos finales de cada ciclo se evalúan en ambientes con problemas de achaparramiento. Los últimos sintéticos desarrollados (SC3P73 N, SC2P76 N y SC3P73 R) superaron en rendimiento de grano al cultivar tolerante NB-6 en 15.5% y 11.7%, respectivamente, y con 17.1% a 20.5% menos plantas y mazorcas afectadas por achaparramiento. Los cultivares tolerantes se destacan en ambientes desfavorables con presión de la enfermedad, sin perder su potencial de rendimiento en los ambientes favorables

El achaparramiento es una de las enfermedades más devastadoras que afecta al cultivo del maíz y es un factor limitante de la producción en las zonas tropicales y subtropicales del continente Americano; se presenta desde el nivel del mar hasta zonas intermedias o de altura y en latitudes desde 40°N, hasta los 30°S (de León, 1984). En Centro América y el Caribe, la enfermedad alcanza niveles críticos de incidencia, principalmente en aquellas regiones donde los agricultores siembran variedades criollas con bajo nivel tecnológico y donde las condiciones climatológicas son

favorables para el desarrollo del vector de la enfermedad tales como: escasez de lluvia, altas temperaturas y baja humedad relativa.

Los efectos del achaparramiento en plantaciones comerciales de maíz se cuantificaron por primera vez en Nicaragua en 1986. En ese año la superficie perdida y afectada parcialmente totalizó 27,682 ha; con una pérdida de rendimiento de 29,445 toneladas de grano, o una pérdida de U\$5 millones de dólares aproximadamente (DGB-MIDINRA, 1986).

En las regiones donde el achaparramiento se presenta en forma endofítica, los riesgos de pérdidas aumentan cuando los agricultores retrasan sus siembras por causa del establecimiento irregular de las lluvias. Para contrarrestar el efecto detrimental de la enfermedad y asegurar una producción sostenida, se deben sembrar en éstas localidades cultivares con tolerancia a la enfermedad. Consciente del problema, el programa de maíz del CIMMYT en conjunto con los programas nacionales de maíz de Nicaragua y El Salvador iniciaron en 1975 un programa colaborativo de mejoramiento genético para desarrollar cultivares con resistencia al achaparramiento. Al comparar la respuesta al achaparramiento de tres ciclos de selección con el ciclo cero, en localidades de Nicaragua y El Salvador, se observaron porcentajes promedios de disminución de plantas afectadas por la enfermedad de 16, 28 y 19% en las poblaciones 73, 76 y 79 respectivamente (de León et al., 1984).

El esfuerzo colaborativo iniciado en 1975, tendiente a desarrollar variedades tolerantes al achaparramiento, tuvo como resultado positivo la liberación en Nicaragua en 1984 de la variedad NB-6 (Santa Rosa 8073) y en años subsiguientes fue liberada con los nombres de La Lujosa B-101 en Honduras, Santa Rosa en México y Venezuela (Córdova et al., 1990). Reportes de Nicaragua indican que la variedad NB-6 sembrada en 2000 hectáreas rindió 3.5 t/ha, en tanto que los híbridos susceptibles al achaparramiento 1.5 t/ha (Urbina, 1991)

El progreso alcanzado en el mejoramiento para resistencia al achaparramiento utilizando el método de selección recurrente con líneas S_1 - S_2 ha sido evidente; por lo tanto en la segunda etapa de mejoramiento

¹Coordinador del Programa de Granos Básicos, INTA, Nicaragua.

iniciada en 1985 por el PRM, se ésta utilizando la misma metodología con ciertas variantes para lograr a corto plazo: a) eliminar o reducir la frecuencia de genes recesivos deletéreos presentes en las poblaciones sometidas a mejoramiento; b) incrementar la frecuencia de alelos favorables involucrados en la resistencia al achaparramiento; y c) desarrollar cultivares con resistencia y buen potencial de rendimiento

MATERIALES Y MÉTODOS

La segunda etapa del proyecto colaborativo de mejoramiento genético para achaparramiento la reinició el PRM en 1985 en El Salvador y República Dominicana, incorporándose posteriormente Nicaragua en 1986. Esta etapa se inició con dos poblaciones blancas y dos amarillas, pero en el presente trabajo solamente se hará referencia a las poblaciones blancas bajo mejoramiento en El Salvador y Nicaragua. Las dos poblaciones se formaron con líneas S_1 derivadas de las siguientes variedades experimentales:

Pob. 22 (Mezcla Tropical Blanca)	Pob. 73 (Tropical Tardía Blanca Dentada)
Across 8222	Cuyuta 8073
Los Baños 8222	Porrillo 8074
Los Baños (1) 8222	Santa Rosa 8073
Gwibi (1) 8222	Tlaltzapán 8073
Gwibi (2) 8222	Bulk de la Pob. 73 Ciclo IV (50%)
Maracay 8222	
Suwan 8222	
Suwan (1) 8222	

La Población 22 se eliminó del proyecto después de dos ciclos de selección al no lograrse ganancias significativas en resistencia, ya que carecía de una frecuencia alta de genes condicionadores de la resistencia. La Población 22 fue sustituida por un grupo de líneas derivadas de la variedad Santa Rosa 8576, la cual se formó con germoplasma mejorado por la Misión Técnica Agrícola de China (Taiwan) y el Programa de Maíz de Nicaragua. A partir de su incorporación en el proyecto se le denominó "Población 76", por tener dicho germoplasma un buen porcentaje de la población TIWF.

Metodología de Mejoramiento

Las poblaciones se están mejorando bajo esquemas de selección recurrente de líneas S_1 - S_2 . Por ser un proyecto colaborativo, el mejoramiento se lleva a cabo en los países participantes, sin embargo la responsabilidad del manejo de cada población le corresponde a un determinado país; por ejemplo, El Salvador maneja la Pob. 73 y Nicaragua maneja la Pob. 76.

El primer ciclo se inició generando 400 líneas S_1 en cada una de las poblaciones; se formaron 4 ensayos con las líneas de cada población para evaluarse en Nicaragua y El Salvador en dos épocas de siembra (una normal y otra tardía bajo alta incidencia de la enfermedad). Las líneas se evaluaron en un diseño de látice simple 20 x 20 con dos repeticiones; siendo el tamaño de la parcela un surco de 5 m de largo. A cada una de las líneas se le tomaron datos de las características agronómicas, reacción al achaparramiento (conteo de plantas y mazorcas afectadas por la enfermedad, calificación de la severidad del daño) y el rendimiento de grano.

La información consolidada de las variables medidas se utiliza para efectuar la selección de la fracción superior en cada una de las poblaciones (40 líneas); las cuales se siembran en cada país en la siguiente época para efectuar la recombinación entre líneas S_1 por medio de hermanos completos. Igualmente se seleccionan en cada ciclo las 10 mejores líneas para formar una variedad sintética experimental. En el proceso selectivo se procura escoger líneas no emparentadas para evitar estrechar la base genética de la población.

Las familias de hermanos completos se siembran en la época de alta incidencia de la enfermedad y en cada una de ellas se efectúan autofecundaciones. A los 15 días después de la floración, las autofecundaciones en plantas con sintomatología del achaparramiento se eliminan; las que superan esta selección se cosechan y se utilizan para evaluarse en el siguiente ciclo de mejoramiento.

Primera Modificación

En el tercer ciclo de la Pob. 73 y en el segundo de la Pob. 76, la recombinación de las líneas S_1 se efectuó con la modalidad de medios hermanos; esto se hizo con la finalidad de romper grupos de ligamentos indeseables que en el futuro podrían obstaculizar la selección de los caracteres favorables y al mismo tiempo se pretendía disminuir la endogamia en la población. En las familias de medios hermanos se formaron hermanos completos (cruzas directas y recíprocas) para evaluarlos en ensayos

internacionales en diferentes países en dos épocas; una normal y la otra con presión de la enfermedad. Concluida la evaluación internacional de familias de hermanos completos se inició el ciclo normal de selección recurrente.

Segunda Modificación

A partir del cuarto ciclo de la Pob. 73 y el tercero de la Pob. 76 las líneas S_1 se están avanzando a S_2 ; las primeras se siembran en la época de incidencia del achaparramiento en surcos de 6 m de longitud; la mitad del surco se siembra a alta densidad (15 cm entre plantas) para evaluar la línea y en los otros 3 m se siembra a baja densidad (30 cm entre plantas) para efectuar las autofecundaciones. Antes y después de la floración se eliminan las familias indeseables; se seleccionan a la cosecha únicamente las sanas para ser evaluadas en la siguiente época, en ensayos de rendimiento y sanidad. Con esta modificación se están evaluando 225 líneas S_2 en surcos de 2.5 m de largo con dos repeticiones en dos localidades y dos épocas de siembra.

El progreso del mejoramiento genético de ambas poblaciones se determina indirectamente a través de la evaluación de los sintéticos experimentales desarrollados en los últimos ciclos de selección, junto con las variedades compuestas de cada ciclo, variedades e híbridos tolerantes desarrolladas en años anteriores e híbridos comerciales susceptibles de alto potencial de rendimiento utilizados como testigos de referencia.

Los ensayos conformados con estos materiales se evalúan en los países de Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Panamá y República Dominicana en épocas normales de siembra y con alta incidencia de la enfermedad. Se utiliza un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y tamaño de la parcela de 4 surcos de 5 m de largo. A cada entrada se le toma datos de las características agronómicas, reacción al achaparramiento y rendimiento de grano.

Análisis Estadístico

Análisis de varianza por localidad y combinado, análisis de estabilidad, comparación de medias mediante la prueba de Tukey, contrastes ortogonales, análisis de regresión simple y frecuencias de clases, cálculo de índices de selección y achaparramiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La selección basada en progenies endocriadas (S_1 , S_2 , etc), es teóricamente efectiva para efectuar cambios en la frecuencia de genes con efectos aditivos (Hallauer y Miranda 1981). La efectividad de la selección recurrente practicada en ambas poblaciones para los caracteres rendimiento de grano, plantas y mazorcas afectadas por achaparramiento es evidente.

En los Cuadros 1 y 2 se observa que el diferencial de selección se incrementó a través de los ciclos para la variable rendimiento de grano; para el porcentaje de plantas enfermas el diferencial fue negativo; siendo variable debido a la erradicidad de la incidencia de la enfermedad. Los valores negativos demuestran que las líneas seleccionadas para ser recombinadas en el siguiente ciclo acusan mayores niveles de tolerancia a la enfermedad que la población en su totalidad.

A través de los ciclos se manifestó progreso en el mejoramiento de los caracteres de importancia económica; lo cual indica que la selección recurrente de líneas S_1 es efectiva para eliminar alelos recesivos deletéreos que limitan el progreso en la selección (Córdova et al., 1986). En la fracción seleccionada se observaron ganancias considerables en rendimiento de grano y disminución del daño ocasionado por la enfermedad en plantas y mazorcas, producto de la capitalización de alelos favorables condicionadores de la resistencia Cuadros 1 y 2.

En el programa de mejoramiento genético para resistencia al achaparramiento que precedió al actual, (de León et al., 1984) basado en los resultados obtenidos afirmó que un programa de selección recurrente de líneas S_1 , su evaluación y recombinación de una fracción seleccionada es adecuado para acumular niveles de resistencia estable. El mejoramiento de la Población 73 logrado por medio de la selección, ha aumentado el rendimiento de grano en ambientes con fuerte presión de la enfermedad en un promedio de 0.31 t/ha/ciclo (10.4% por ciclo); éste incremento está asociado con una reducción de 10% por ciclo en el número de plantas afectadas. La regresión entre rendimiento y número de plantas afectadas por achaparramiento determinó que por cada planta enferma se reduce el rendimiento en aproximadamente 75 gramos (Aguiluz y Urbina, 1992).

Cuadro 1. Medias de rendimiento y reacción al achaparramiento de la fracción seleccionada de la Población 73. Análisis combinado, El Salvador y Nicaragua, 1989.

	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
	t/ha	% Ptas Af. ¹	t/ha	% Ptas Af.	t/ha	% Ptas Af.
Media Pob. (400)	3.67	27	3.25	75	1.92	23
Media Frac. Sel.	3.69	18	3.82	38	2.71	12
Media Var. Exp.	4.25	12	3.89	26	3.02	10
Difer. Selec.	0.02	-9	0.57	-37	0.79	-11

¹Porcentajes de plantas afectadas por achaparramiento**Cuadro 2. Estadísticos de 225 familias de hermanos completos de la Población 76, ciclo 2, Nicaragua 1991.**

	1991 A			1991 B		
	t/ha	% Ptas Af.	% Mcas Af.	t/ha	% Ptas Af.	% Mcas Af.
Media Pob.	3.82	48	22	3.74	54	11
Media Frac. Sel.	4.48	35	12	4.03	41	5
Difer. Sel.	0.66	-13	-10	0.56	-13	-6
Máximo	5.82	93	65	5.17	91	53
Mínimo	2.09	9	0	1.17	1	4
Desv. Est.	0.69	15	13	0.73	16	8
Testigos						
NB-12	4.22	55	26	3.62	76	27
B-833	0.91	100	94	1.38	97	92

Cuadro 3. Rendimiento de grano y reacción al achaparramiento de sintéticos y compuestos desarrollados en la Pob. 73, evaluados en siete localidades de Centro América, 1991.

Genotipos	Rend. t/ha	% Sobre NB-6	% Ptas. Achap.
Compuesto C ₃	4.25 a ¹	123	37.6
Sintético C ₃	4.18 a	121	33.2
Compuesto C ₂	4.10 a	118	39.6
Sintético C ₂	3.72 a	107	42.4
Sintético C ₁	3.63 b	105	38.2
Sintético C ₀	3.56 b	103	47.7
NB-6	3.46 b	100	35.7
B-833	2.71 c	78	58.8

¹Rendimientos señalados con la misma letra son similares estadísticamente al 5% de probabilidad, según Tukey.

Después de tres ciclos de selección y con moderada incidencia de achaparramiento se obtuvo ganancias de 11% por ciclo en resistencia a la enfermedad y 4.3% en rendimiento. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede inferir que la selección ha sido efectiva en mejorar el comportamiento de los cultivares bajo presión de la enfermedad, pero aparentemente sacrificando un poco el potencial de rendimiento en ambientes óptimos.

Al comparar los mejores sintéticos de ambas poblaciones desarrollados en el último ciclo de mejoramiento con otras variedades tolerantes al achaparramiento liberadas comercialmente e híbridos de alto potencial de rendimiento; se nota claramente que los sintéticos SC3P73 N, SC2P76 N y SC3P73 R presentaron mayor rendimiento de grano y menor porcentaje de plantas y mazorcas afectadas por achaparramiento que los testigos NB-6 y H-53 (Cuadro 4); estos resultados demuestran en forma objetiva el progreso alcanzado ya que los cultivares señalados manifiestan superioridad respecto a los testigos de amplio uso por parte de los agricultores.

Es importante señalar que los sintéticos presentaron mejor respuesta en ambientes desfavorables con alta

incidencia de la enfermedad, sin embargo no pierden su potencial de rendimiento en ambientes favorables. Los sintéticos SC3P73 N, SC2P76 N y SC3P73 R, rindieron igual a los híbridos B-833 y HN-879 en ambientes donde no hubo presión de la enfermedad y en ambientes con alta incidencia de achaparramiento los superaron ampliamente, en algunos casos estas ganancias fueron mayores de 2.0 t/ha (>100%) (Cuadro 4).

Los cultivares desarrollados en los últimos ciclos de mejoramiento para resistencia al achaparramiento, presentaron un comportamiento diferencial bien marcado con respecto a los híbridos y a las variedades tolerantes en los ambientes con alta incidencia de la enfermedad. Los sintéticos SC3P73 R y NB-12 fueron los cultivares que sufrieron menos abatimiento del rendimiento al pasar de un ambiente de incidencia de la enfermedad a otro de alta incidencia. Por tanto con esta evidencia se tiene la certeza de que los cultivares puestos a disposición de los agricultores son superiores a los que están utilizando en la actualidad.

Cuadro 4. Medias de rendimiento y reacción al achaparramiento de cultivares de maíz evaluados en ambientes de Nicaragua, Panamá y El Salvador 1991.

Cultivares	t/ha	% sobre NB-6	Desv. Reg. S ² di	Coef. Regr. Bi	% Plantas Achap. ³	% Mcas. Achap.
SC3P73 N	4.22 a ¹	115	0.24 **	0.66 ns	38.5	21.7
SC2P76 N	4.22 a	115	0.05 ns	0.51 *	42.3	17.0
SC3P73 R	4.05 ab	111	0.12 *	0.36 *	42.8	18.3
NB-12	4.01 ab	109	0.04 ns	0.55 *	49.5	20.9
H-53	3.73 ab	102	0.13 *	1.19 ns	56.8	50.4
NB-6	3.66 b	100	0.15 *	1.20 ns	54.0	38.8
B-833	2.99 c	82	0.79 **	1.78 **	78.8	72.8
HN-879	2.79 c	76	0.81 **	1.75 **	82.6	76.2
Media	3.71		0.29	1.00	55.7	39.5

¹ Rendimientos señalados con la misma letra son similares estadísticamente al 5% de probabilidad según Tukey.

³ Medias de cuatro ambientes con estrés de achaparramiento

Cuadro 5. Efecto del achaparramiento en el rendimiento de grano en cultivares de maíz evaluados en la estación experimental H. Tapia B., Managua Nicaragua (junio y septiembre de 1991).

Cultivares	Ciclo A	Ciclo B	% Reduc.	IRA ¹
	t/ha	t/ha	Rend.	
SC3P73 N	4.89	2.87	41.3	0.59
SC2P76 N	4.59	3.03	34.1	0.66
SC3073 R	4.32	3.29	23.8	0.76
NB-12	4.05	2.90	28.4	0.72
H-53	4.61	1.38	70.3	0.30
NB-6	4.83	1.75	63.8	0.36
B-833	3.52	1.23	65.0	0.35
HN-879	2.83	0.789	72.1	0.28

¹ IRA: Índice de resistencia al achaparramiento
 IRA = $1 - (Y_1 - Y_2) / (Y_1)$; donde Y_1 : Rendimiento en ambientes favorables
 Y_2 : Rendimiento en ambientes desfavorables

CONCLUSIONES

1. El método de mejoramiento utilizado (selección recurrente de líneas S₁-S₂) ha sido efectivo para capitalizar alelos favorables condicionadores de la resistencia al achaparramiento en las poblaciones.
2. La mejor respuesta de los sintéticos desarrollados en los últimos ciclos de mejoramiento, la obtuvieron en los ambientes desfavorables con presión de la enfermedad; sin perder su potencial de rendimiento en los ambientes favorables.
3. Los mejores sintéticos de cada población presentaron mayor rendimiento de grano y menor porcentaje de plantas y mazorcas afectadas por achaparramiento, que los testigos tolerantes desarrollados en años anteriores; lo cual evidencia el progreso alcanzado a través del mejoramiento genético.

REFERENCIAS

Aguiluz, A. y R. Urbina. 1992. Evaluación de ciclos de selección para resistencia al achaparramiento en la Población

73. En Síntesis de Resultados Experimentales 1991. Programa Regional de Maíz. Vol. 3, Guatemala C.A. pp. 59-65.

Córdova, H., J. Lothrop y M. Gutiérrez. 1986a. Mejoramiento integral para cobertura y pudrición de mazorca en los complejos germoplásmicos de CIMMYT. XXXII Reunión Anual del PCCMCA. Sn. Salvador, El Salvador.

Córdova, H. 1990b. Desarrollo y mejoramiento de germoplasma para resistencia a factores adversos bióticos y abióticos y producción de semilla. Estrategias y logros 1986-1991. Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe. Guatemala C.A.

De León, C. 1981a. Mejoramiento de poblaciones de maíz para resistencia al achaparramiento y al mildiú. XXVII Reunión Anual del PCCMCA. Sto. Domingo, República Dominicana.

De León, C., L. Pineda, R. Rodríguez. 1984b. Resistencia genética: una alternativa contra el achaparramiento del maíz. XXX Reunión Anual del PCCMCA. Managua, Nicaragua C.A.

DGB-MIDINRA. 1986. Incidencia del achaparramiento en el cultivo del maíz y su impacto en el país. Managua, Nicaragua 13p.

Hallauer, A. R., y J. B. Miranda. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press. 468 p.

Obando, M., y R. Urbina. 1993. Reacción de familias de hermanos completos de la población 76 al achaparramiento del maíz. En Síntesis de Resultados Experimentales 1992. Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe. Guatemala, Guatemala. pp. 73-78.

Urbina A., R. 1991a. Incidencia y efectos del achaparramiento en la producción de maíz en Nicaragua. CNIGB-MIDINRA. Separata.

Urbina A., R., M. Obando, A. Aguiluz y H. Córdova. 1991b. Evaluación de líneas S₁ derivadas de la población 73 del tercer ciclo de mejoramiento para resistencia al achaparramiento. En Agronomía Mesoamericana. Vol. 2 pp. 66-70.

Urbina A., R., M. Obando, A. Aguiluz, y A. Alvarado. 1993c. Estabilidad y reacción al achaparramiento de cultivares de maíz a través de seis ambientes de Centro América. En Síntesis de Resultados Experimentales 1992. Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe. Guatemala, Guatemala. pp. 67-72.

Evaluación de Materiales con Resistencia Múltiple a Cogollero, Barrenadores y Achaparramiento

Rafael Obando¹, Róger Urbina¹, John A. Mihm² y Marcos Mendoza¹

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar materiales con resistencia múltiple a cogollero, (*Spodoptera frugiperda* Smith) barrenadores (*Diatraea* spp.) y al achaparramiento transmitido por la chicharrita (*Dalbulus maidis* D. & W.); se evaluaron cuatro viveros (2 de grano blanco y 2 de grano amarillo, ambos con líneas y cruza simples) de CIMMYT en la estación experimental Santa Rosa, Nicaragua, en postrera de 1994. Las entradas se evaluaron en dos repeticiones en parcelas de 1 surco de 2.5 m de largo a 0.81 m entre surco y 0.25 m entre posturas. Los viveros se sometieron a infestación natural de plagas; el daño por cogollero se evaluó con una escala de 1-9 (1 es poco daño y 9 tiene el cogollo destruido). El daño de achaparramiento en las plantas se evaluó a los 75 días después de la siembra. A la cosecha se tomó el peso de campo y el número de mazorcas afectadas por achaparramiento. Las cruza simples presentaron mayores rendimientos de grano. En el vivero de probadores resistentes al achaparramiento de grano blanco la mejor cruza rindió 9.6 t/ha, con daño de cogollero de 5, sin daño de achaparramiento. Para los materiales de grano amarillo, la mejor cruza rindió 7.9 t/ha, con daño de cogollero de 6 y 15% de plantas con síntomas de achaparramiento y sin mazorcas afectadas por la enfermedad. En los viveros de testigos resistentes a barrenadores, cogollero y achaparramiento, en el de grano blanco la mejor cruza rindió 6.5 t/ha con daño de cogollero de 6, 5% de plantas con síntomas y ninguna mazorca afectada; en el de grano amarillo la mejor cruza rindió 5.8 t/ha, daño de cogollero 6, 21 % de plantas afectadas y 5% de mazorcas con síntomas de achaparramiento. Los resultados del estudio revelan buenas posibilidades de obtener en el futuro cultivares con niveles aceptables de resistencia múltiple a estas plagas.

Entre los factores que afectan en mayor grado el rendimiento de grano en maíz en Nicaragua, se encuentran las plagas conocidas como cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith), barrenadores (*Diatraea* spp.) y el achaparramiento producido por micoplasmas y spiroplasmas transmitidos por el vector chicharrita del maíz (*Dalbulus maidis* D.& W.).

¹Investigadores del Programa de Maíz, INTA, Nicaragua;
²Entomólogo de CIMMYT, México.

Desde hace algunos años, el programa de Entomología (Resistencia de la Planta Huésped) del CIMMYT ha estado formando poblaciones de maíz para obtener resistencia múltiple a este complejo de plagas. Ya no se puede aceptar la idea que el desarrollo de plantas con buenas características agronómicas y alto rendimiento es suficiente para obtener resistencia automáticamente. Además, ya no se debe confiar a ciegas en los plaguicidas, los insectos desarrollan resistencia a ellos. Por tanto, se debe diseñar una serie de prácticas de combate en la que intervengan la resistencia de las plantas (Maxwell y Jennings, 1984).

Entre los mecanismos de variabilidad en las plantas que se pueden usar para seleccionar resistencia se encuentran la hibridación y la herencia citoplásmica. Los avances en la genética y las evidentes ventajas de evitar pérdidas por las plagas y enfermedades de las plantas por el simple hecho de sembrar una variedad resistente en vez de una susceptible, hacen posible y muy deseable la producción de variedades resistentes (Agrios, 1989).

En la postrera de 1993, con poblaciones naturales de plagas y enfermedades, en Nicaragua y El Salvador se tomaron datos en líneas derivadas de tres poblaciones; Pob.21 X Antigua, Pob.76 X RIM-BCA Pob.76 X RIM-Cogollero. Se identificaron líneas con resistencia múltiple a cogollero y achaparramiento en las 3 poblaciones. Estos datos combinados con calificaciones de resistencia a barrenadores bajo infestación artificial en CIMMYT-México, permitirá identificar líneas con resistencia múltiple a las tres plagas. Las líneas seleccionadas se usarán para avanzarlas a mayores niveles de endogamia, sintéticos e híbridos experimentales, así como para formar una población que se usará en el mejoramiento para resistencia múltiple a estas plagas (Mihm et al., 1994).

El objetivo del presente estudio es evaluar la sanidad y el rendimiento de grano de germoplasma de maíz con resistencia múltiple a cogollero, barrenadores y achaparramiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedentes de CIMMYT México, en la época de postrera (7 de octubre de 1994) se sembraron en la estación experimental Santa Rosa Nicaragua, cuatro viveros 2 de grano blanco y 2 de grano amarillo, cada uno formado por líneas y cruza simples. Los viveros sembrados fueron:

1. Probadores resistentes al achaparramiento, de grano blanco con 20 entradas (15 líneas y 5 cruza simples).
2. Probadores resistentes al achaparramiento, de grano amarillo, con 29 entradas (cruza simples).
3. Testigos resistentes al achaparramiento, barrenadores y cogollero, de grano blanco, con 67 entradas (34 líneas y 33 cruza simples).
4. Testigos resistentes al achaparramiento, barrenadores y cogollero, de grano amarillo, con 90 entradas (48 líneas y 42 cruza simples).

Cada vivero se evaluó con 2 repeticiones, sembrando cada entrada en un surco de 2.5 m de largo, espaciados a 0.81 m y entre planta 0.25 m. No se hizo ningún control de plagas para evaluar el daño ocasionado por las poblaciones naturales en los viveros. El daño de cogollero se evaluó en el follaje antes de la emergencia de la espiga, usando la escala de 1-9 (Mihm, 1984), la cual se describe a continuación:

1. Pocos agujeritos
2. Varios o muchos agujeritos
3. Pocos agujeritos y 1 ó 2 lesiones elongadas
4. Varios agujeritos y unas cuantas lesiones elongadas
5. Varios agujeritos y lesiones elongadas
6. Muchos agujeritos, varias lesiones elongadas y unas cuantas porciones comidas
7. Varias lesiones, porciones comidas y áreas muriendo.
8. Lesiones elongadas, porciones comidas y áreas muriendo.
9. Cogollo casi todo comido, varias lesiones y áreas muriendo.

La evaluación del daño de achaparramiento se hizo en plantas y en mazorcas. A los 79 días de sembrado se anotó el número de plantas que presentaba algún síntoma visible de achaparramiento. Al momento de la cosecha se anotó el número de mazorcas afectadas. Se calculó la heterosis y los coeficientes de correlación simple entre las variables en estudio, daño de cogollero, porcentaje de mazorcas y plantas achaparradas y al rendimiento de grano.

RESULTADOS

Probadores resistentes al achaparramiento de grano blanco

Las cinco mejores cruza que presentaron el mejor rendimiento de grano de este vivero se presentan en el Cuadro 1. Solamente la cruza con el mayor rendimiento de grano superó la media de este grupo indicando que una sola cruza se separó muy por encima del resto. La mejor cruza presentó el valor más bajo de daño de cogollero, incluso debajo de la media, mientras que las otra presentaron daños de cogollero arriba de la media. La mejor cruza no presentó daño de achaparramiento en plantas ni en mazorcas, mientras que las otras presentaron daños en plantas y en mazorcas o solamente en plantas (Cuadro 1). Todas estas cualidades de la mejor cruza, menor daño de cogollero y sin daño de achaparramiento hicieron que se manifestara en el mejor rendimiento de grano, muy por encima de las demás.

Las líneas que presentaron los mejores rendimientos de grano, no fueron los progenitores de las cruza simples evaluadas (Cuadro 1). Esto indica que este grupo de materiales se debe seguir evaluando para seleccionar las mejores líneas que formarán otros nuevos materiales. Se encontró una correlación negativa y altamente significativa entre daño de cogollero y rendimiento lo mismo que entre porcentaje de plantas achaparradas y rendimiento de grano. También se encontró una correlación positiva y altamente significativa entre daño de cogollero y porcentaje de plantas achaparradas (Cuadro 1). Esto indica que tanto el daño de achaparramiento en plantas como el daño de cogollero están disminuyendo significativamente el rendimiento de grano y que los materiales que presentan el mayor daño de achaparramiento también presentan el mayor daño de cogollero al 0.01 de probabilidad.

Probadores resistentes al achaparramiento de grano amarillo

El rendimiento de grano, las diez mejores cruza formaron un grupo más o menos homogéneo, el cual supera a la media (5.5 t/ha) entre 12 y 43%. El daño de cogollero oscila alrededor de la media entre 2 y 18% sobre la media. El daño de achaparramiento en plantas y en mazorcas fue menor en los materiales que ocuparon los primeros lugares. A medida que el rendimiento de grano disminuye alejándose del primer lugar el daño de achaparramiento aumenta (Cuadro 2).

Se encontró una correlación negativa y altamente significativa porcentaje de mazorcas achaparradas y porcentaje de plantas achaparradas con el rendimiento de grano. También se encontró una correlación positiva y altamente significativa entre el porcentaje de plantas achaparradas y el porcentaje de mazorcas achaparradas (Cuadro 2). Esto indica que el achaparramiento disminuye significativamente el rendimiento de grano y que el aumento en el porcentaje de plantas achaparradas produce también un aumento en el porcentaje de mazorcas afectadas al 0.01 de probabilidad.

Testigos resistentes al achaparramiento, barrenadores y cogollero de grano blanco

Las diez mejores cruza superaron la media del rendimiento (4.7 t/ha) entre 3 y 39% y presentaron heterosis entre 85 y 415% en relación al mejor progenitor. El daño de cogollero presentó valores negativos en los porcentajes de heterosis en la mayoría de los casos, aunque también hubieron casos neutros y positivos. El achaparramiento en plantas en todos los casos presentó valores de heterosis negativos y el

achaparramiento en mazorcas presentó valores variados siendo la mayoría negativos (Cuadro 3). Estos resultados indican que las ganancias obtenidas en el rendimiento de grano por heterosis son altas, hasta de 415% en relación al mejor progenitor. Indica también que los mejores materiales en rendimiento de grano resultaron de la mayor disminución por heterosis en el daño de achaparramiento en plantas.

Se encontró una correlación negativa y altamente significativa entre daño de cogollero, mazorcas achaparradas y plantas achaparradas con rendimiento de grano. También se encontró correlación positiva y altamente significativa daño de Cogollero con mazorcas achaparradas, daño de cogollero con plantas achaparradas y plantas achaparradas con mazorcas achaparradas (Cuadro 3). Estos valores de correlación indican que el daño de cogollero y achaparramiento en mazorcas y plantas disminuye significativamente el rendimiento de grano. Indican también que las plantas susceptibles al daño de Cogollero también son susceptibles al daño de achaparramiento en plantas y en mazorcas.

Cuadro 1. Mejores materiales identificados en el vivero probadores resistentes al achaparramiento de grano blanco. Santa Rosa, Nicaragua, 1994 B.

Cruza	t/ha	%Sobre Media	Daño Cog.	%Sobre Media	% Pl Acha	%Sobre Media	% Mz Acha	%Sobre Media
19x24	9.6	173	5	89	0	0	0	0
10x30	5.5	98	6	107	39	112	32	163
16x28	4.5	82	6	107	47	135	21	107
9x7	4.2	76	7	125	54	155	0	0
11x28	3.9	71	6	107	35	101	45	230
Prom.	5.5	100	5.6	100	34.8	100	19.6	100
Línea								
2	2.7	289	8	105	34	44	6	39
14	2.0	217	7	92	35	46	0	0
15	1.9	209	8	105	50	65	0	0
13	1.1	117	8	105	60	78	0	0
9	1.1	112	8	105	89	116	24	157
Prom.	1.0	100	7.6	100	77	100	15.3	100

	Matriz de coeficientes de correlación simple		
	Daño Cogollero	% Maz Achap.	% Plantas Achap.
% Mz Acha	0.071		
% Pl Acha	0.590**	0.275	
Kg/ha	-0.725**	-0.114	-0.799**

Valor de r para significancia al 5% = 0.312

Valor de r para significancia al 1% = 0.403

Cuadro 2. Mejores materiales identificados en el vivero probadores resistentes al achaparramiento de grano amarillo. Santa Rosa, Nicaragua, 1994 B.

Cruza	t/ha	%Sobr Media	DaCog	%Sobr Media	% Mz Acha.	%Sobr Media	% Pl Acha.	%Sobr Media
7x22	7.9	143	6	118	0	0	15	59
7x24	7.1	129	6	118	0	0	10	40
6x16	6.9	126	5	98	0	0	0	0
6x17	6.8	125	5	98	0	0	11	44
5x16	6.4	117	6	118	10	87	9	36
7x9	6.3	115	5	98	0	0	11	44
16x27	6.2	114	5	98	8	70	44	163
16x7	6.2	114	5	98	8	70	50	198
5x22	6.2	112	5	98	3	26	15	59
15x4	6.2	112	6	118	15	131	27	107
Prom.	5.5	100	5.1	100	11.45	100	25.23	100

Matriz de coeficientes de correlación simple
Daño Cogollero % Maz Achap. % Plantas Achap.

% Mz Acha.	-0.056		
% Pl Acha.	-0.066	0.595**	
Kg/ha	0.082	-0.399**	-0.501**

Valor de r para significancia al 5% = 0.260

Valor de r para significancia al 1% = 0.337

Cuadro 3. Mejores materiales identificados en el vivero testigos resistentes al achaparramiento, barrenadores y cogollero. Santa Rosa, Nicaragua, 1994 B.

Cruza	t/ha	% De Heter	DaCog	% De Heter	% Mz Acha.	% DE Heter	% Pl Acha	% De Heter
24x16	6.5	415	6	-14	0	0	5	-93
1x7	6.5	403	6	0	5	-81	29	-57
1x4	5.9	358	7	17	0	-100	23	-66
15x17	5.9	141	5	-29	0	0	10	-79
3x4	5.3	376	7	17	4	-78	10	-90
23x17	5.1	85	5	-29	5	100	5	-90
25x21	5.1	126	6	-14	21	100	10	-44
19x17	5.0	104	6	0	6	-67	17	-65
15x25	4.8	112	6	-14	0	-100	14	-22
26x2	4.8	178	6	20	31	343	30	-21
Prom.	4.7	100	5.82	100	7.65	100	17.18	100

$$\% \text{ Heterosis} = \frac{F_1 - \text{Mejor Progenitor}}{\text{Mejor Progenitor}}$$

Matriz de Coeficientes de Correlación Simple
Daño Cogollero % Maz Achap. % Plantas Achap.

% Mz Acha.	0.232**		
% Pl Acha.	0.410**	0.225**	
Kg/ha	-0.493**	-0.364**	-0.697**

Valor de r para significancia al 5% = 0.170

Valor de r para significancia al 1% = 0.222

Cuadro 4. Mejores materiales identificados en el vivero testigos resistentes al achaparramiento, barrenadores y cogollero de grano amarillo. Santa Rosa, Nicaragua, 1994 B.

Cruza	Kg/ha	% de Heter	DaCo	% de Heter	% Mz Acha	% de Heter	% Pl Acha	% de Heter
1x7	5.4	78	5	0	6	0	25	-58
5x28	5.3	454	5	-16	8	100	23	-74
7x27	5.2	235	5	-29	24	300	39	-37
10x25	4.9	474	6	-14	20	54	26	-54
10x27	4.8	528	6	-14	22	-44	31	-61
1x10	4.8	60	6	20	0	-100	44	-25
15x5	4.8	400	6	0	14	-33	29	-67
20x1	4.7	54	6	20	15	100	29	-34
3x4	4.3	517	6	20	24	300	50	-33
9x4	4.1	224	6	0	60	200	39	-48
Prom.	4.0	100	5.4	100	15.93	100	34.86	100

Matriz de coeficientes de correlación simple

	Daño Cogollero	% Maz Achap.	% Plantas Achap.
% Mz Acha.	0.067		
% Pl Acha.	0.451**	0.320**	
Kg/ha	-0.520**	-0.178*	-0.744

Valor de r para significancia al 5% = 0.149

Valor de r para significancia al 1% = 0.196

Testigos resistentes al achaparramiento, barrenadores y cogollero de grano amarillo

Las diez mejores cruzas superaron la media del rendimiento de grano (4099 Kg/ha) entre 2 y 33% y presentaron una heterosis entre 54 y 528%. El daño de cogollero presentó valores de heterosis negativos en la mayoría de los casos, aunque también hubo valores neutros y positivos. El achaparramiento en plantas en todos los casos presentó valores de heterosis negativos, mientras que el achaparramiento en mazorcas presentó valores de heterosis variados siendo la mayoría positivos (Cuadro 4).

Estos resultados indican que las ganancias obtenidas por heterosis en el rendimiento de grano son altas, hasta de 528%, en relación al mejor progenitor. Indica también los mejores materiales en rendimiento de grano estuvieron influenciados por la mayor disminución por heterosis en el daño de achaparramiento en plantas.

CONCLUSIONES

1. El rendimiento de grano en las cruzas se incrementó hasta en 528% en relación al mejor progenitor. El daño de cogollero y achaparramiento en las cruzas disminuyó por efecto de la heterosis, aunque también hay casos en los cuales aumentó.

2. El rendimiento de grano de las mejores cruzas fueron las que presentaron la mayor heterosis negativa en el daño de achaparramiento en plantas. Se encontró correlación negativa y significativa entre el rendimiento de grano con las tres variables estudiadas; daño de cogollero, achaparramiento en planta y mazorca.

3. Los materiales susceptibles al achaparramiento en planta también fueron susceptibles al achaparramiento en mazorca y daño de cogollero.

REFERENCIAS

- Agrios G.N. 1989. Fitopatología. Ed. Limusa. Tercera Reimpresión. México. p 109-118.
- Maxwell F.G. y Jennings P.R. 1984. Mejoramiento de plantas resistentes a insectos. Ed. Limusa. México. 696 p.
- Mihm J.A., J.A. Deutsch, D.C. Jewell, R. Urbina, R. Obando, F. Guerra, y D. Jeffers. 1994. Desarrollo de materiales de maíz con resistencia múltiple a achaparramiento, barrenadores y cogollero. In Memorias de la XL Reunión Anual del PCCMCA, San José, Costa Rica.

Mihm J.A. 1984. Técnicas eficientes para la crianza masiva e infestación de insectos, en la selección de las plantas hospedantes para resistencia al gusano cogollero. *Spodoptera frugiperda*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, El Batán, México.

Adaptación de Híbridos Tropicales de Maíz de CIMMYT en Guatemala

Salvador Castellanos¹ y Luis Larios²

RESUMEN

La prueba de cruza híbridas experimentales es importante para identificar nuevas combinaciones híbridas que puedan ser utilizadas comercialmente. En 1994, el Programa de Maíz de ICTA realizó evaluaciones en tres ambientes de Guatemala de cuatro ensayos de híbridos (2 de grano amarillo y 2 de grano blanco) en colaboración con CIMMYT, por medio del Programa Regional de Maíz (PRM). Los objetivos fueron: 1) identificar el potencial de cruces simples, triples y dobles de grano blanco y amarillo generados por CIMMYT en ambientes del trópico bajo de Guatemala; 2) identificar cruces híbridos y/o líneas con potencial como cultivares *per se* o para incorporar germoplasma élite al ICTA. En general, los híbridos cruza simples fueron superiores a los testigos incluidos, como era esperado por tener una mayor heterosis, sin embargo; estos híbridos no son una alternativa potencial a corto plazo para el agricultor típico de Guatemala, por el alto costo de la semilla certificada. Los híbridos triples experimentales superiores se comportaron similares en potencial de rendimiento a los testigos comerciales y/o experimentales del ICTA incluidos en las evaluaciones. Las líneas que conformaron los híbridos simples y triples superiores se considera germoplasma básico para ser incorporado al ICTA y de esa forma estructurar nuevos cruzamiento con otras fuentes de germoplasma élite.

El éxito de la formación de híbridos se da a través del conocimiento de los mecanismos que controlan la herencia del rendimiento, siendo varios los aspectos importantes: la relación de los efectos genéticos y como estos contribuyen a la heterosis total obtenida en una cruce determinada. El desarrollo de híbridos de maíz en escala comercial, puede involucrar la formación de progenitores endogámicos y no endogámicos o una combinación de los dos anteriores, variando el número de sus componentes que puede ir de un mínimo de dos a un máximo de cuatro padres. Los híbridos se pueden agrupar en dos grandes clases: híbridos convencionales y no convencionales (Vasal et. al., 1988).

El PRM ha generado híbridos experimentales con el

¹ Postdoctorado, Programa de Maíz, CIMMYT-México;
² Fitomejorador, Programa de Maíz ICTA, Guatemala.

objetivo que los programas nacionales puedan utilizarlos de acuerdo a sus intereses, con el propósito de encontrar híbridos convencionales con alto rendimiento y buena adaptación. Con este objetivo se establecieron cuatro ensayos de híbridos experimentales de grano amarillo y blanco en el trópico bajo de Guatemala para: 1) evaluar el potencial de cruces híbridos simples y triples de grano amarillo generados por CIMMYT, 2) identificar cruces híbridos y/o líneas con potencial como cultivares *per-se* o para incorporar germoplasma élite al Programa de Maíz de ICTA, 3) mantener el vínculo de colaboración en doble vía con el CIMMYT para obtener información que sirva de base en la generación de germoplasma para el desarrollo de híbridos convencionales de líneas con adaptación a la región de Centro América y el Caribe, y 4) continuar evaluando y desarrollando germoplasma del CIMMYT, como parte de las actividades del Proyecto de híbridos del PRM, donde el Programa del ICTA coordina las actividades a nivel regional.

MATERIALES Y METODOS

Dentro de las actividades incluidas en el Plan Operativo 1994 del PRM, se consideraron cuatro diferentes ensayos proporcionados por el CIMMYT que incluyeron cruces simples y triples entre líneas élite de grano amarillo desarrollados por ese centro de investigación. La evaluación de estos ensayos se llevo a cabo durante el ciclo de temporal de 1994 en diferentes ambientes de Centro América y el Caribe, contándose con el apoyo financiero compartido entre los diferentes programas nacionales y el PRM. En este informe únicamente se presenta la información obtenida de las evaluaciones conducidas en Guatemala.

Los ensayos en mención, CHTTY-94 y CHTTW-94, con 20 entradas en un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones; el segundo set HTY-94 y HTW-94 con 25 entradas bajo un diseño de láttice simple 5X5 con 4 repeticiones. Los ensayos CHTTY-94 y CHTTW-94 fueron evaluados en las estaciones experimentales del ICTA en Cuyuta, y San Jerónimo, así como también un ensayo conducido con financiamiento propio de la Compañía Cristiani Burkard S.A. en la Finca Las Vegas en Tiquisate. En el caso de los ensayos HTY-94 y HTW-94 se condujeron en las estaciones del ICTA en Cuyuta y San Jerónimo.

Los ensayos conducidos por ICTA tuvieron como parcela experimental 1 surco de 5 m de largo y el de Cristiani Burkard 2 surcos de 5 m, espaciados en todos los casos a 0.75 m entre surcos a una densidad de 5.33 plantas por m². El manejo agronómico de los ensayos respecto a control de plagas, malezas y fertilización dependió de la incidencia y las recomendaciones de investigación de cada una de las localidades.

El germoplasma incluía líneas con diferentes estados de endogamia y/o familias de hermanos completos derivadas de las poblaciones 24, 27, 36, 28, 79, Sintético Amarillo para los híbridos amarillos; y para los híbridos blancos líneas derivadas de las poblaciones 21, 22, 29 y 43, las cuales presentan adaptación potencial para ambientes de Centro América y El Caribe.

La información de campo colectada en cada ensayo de evaluación fue el rendimiento de grano al 15% de humedad y las características agronómicas de los distintos genotipos involucrados. Para la interpretación de la información obtenida, se hizo análisis de varianza por localidad y combinado a través de localidades para rendimiento ajustando los datos por covarianza, así como también las medias a través de localidades de aquellas características agronómicas de interés.

RESULTADOS

El Cuadro 1 muestra los cuadrados medios por localidad y a través de localidades para rendimiento de grano de los ensayos CHTTY-94 y CHTTW-94. Los cuadrados medios del infieren que se observó diferencias altamente significativas para todas las fuentes de variación incluidas tanto a nivel de localidad como en el análisis combinado. La fuente de variación localidades fue la que más contribuyó a la variación total, lo que demuestra lo contrastante de los ambientes de evaluación. La significancia de la interacción Loc x Trat infiere que la expresión de los genotipos evaluados es diferente en los distintos ambientes, aunque esta es demasiado pequeña. En cuanto a la significancia de tratamiento demuestra que existen genotipos que están mostrando diferente comportamiento en los ambientes evaluados.

Los Cuadros 2 y 3 presentan el rendimiento de grano obtenido en cada localidad y a través de localidades de los híbridos experimentales superiores comparados con los testigos incluidos en los ensayos CHTTY-94 y CHTTW-94. Para identificar los híbridos superiores que se incluyen en los Cuadros 2 y 3 se tomó en cuenta la información del tipo de híbrido, así

como también características agronómicas expresadas. Los híbridos superiores seleccionados y los dos testigos no mostraron diferencias significativas según la prueba de Tukey (P<0.05) en base al análisis combinado (datos no incluidos). Los mejores híbridos incluyeron cruza simples (CS) y cruza triples (CT).

En los Cuadros 4 y 5 se incluyen los cuadrados medios por localidad y a través de localidades para rendimiento en los dos ensayos HTY-94 y HTW-94. Se observa en el Cuadro 4 que se obtuvo alta significancia tanto a nivel de localidades como en el combinado, siendo la fuente de variación localidades la que más contribuyó a la varianza. La alta significancia para la interacción Loc. x Trat. indica la respuesta diferencial de los genotipos en los dos ambientes de evaluación.

Cuadro 1. Cuadros medios para rendimiento (t/ha) de CHTTY-94 y CHTTW-94, evaluados en 3 localidades de Guatemala, 1994.

Fuente de Variación	Cuyuta	San Jerónimo	Las Vegas	Comb.
CHTTY-94				
Localidades				206.70**
Tratamientos	1.27*	2.50**	1.69**	3.55**
Loc. X Trat.				0.98**
Error	0.63	0.55	0.31	0.48
CHTTW-94				
Localidades				154.75**
Tratamientos	1.00**	1.85**	1.55**	2.53**
Loc. X Trat.				0.94**
Error	0.39	0.45	0.47	0.40

Cuadro 2. Rendimiento de grano de 10 híbridos superiores en CHTTY-94 evaluado en 3 localidades de Guatemala, 1994.

Ent.	Híb.	Cuy.	S.J.	L.V	Comb.	%**
5	CS	6.87	9.89	8.72	8.46	16
3	CS	6.21	9.67	8.27	8.04	10
16	CT	6.02	10.19	7.40	7.86	8
14	CT	6.02	9.80	7.43	7.75	6
17	CT	5.98	9.66	7.54	7.74	6
6	CS	6.54	9.21	7.32	7.71	6
1	CS	5.65	9.94	7.54	7.70	6
15	CT	5.54	9.73	7.72	7.67	5
2	CS	6.25	8.34	7.96	7.53	3
13	CT	5.45	9.36	7.42	7.38	1
20	Test*	6.49	8.65	6.72	7.30	
19	Test*	5.67	7.77	7.82	7.09	

*Ent 19=ICTA Exp. 9122 y Ent 20=ICTA HA-46. En las Vegas, Ent 19=P-3098 y Ent 20=CB-32 x CB-36. **=% sobre la media de los testigos.

Cuadro 3. Rendimiento de grano (t/ha) de 6 híbridos superiores en CHTTW-94 evaluados en 3 localidades de Guatemala, 1994.

Ent.	Hib.	Cuy.	S.J.	L.V.	Comb.	%**
7	CS	7.26	9.65	8.35	8.44	12
3	CS	6.77	9.62	8.09	8.14	8
1	CS	6.76	9.47	7.46	7.90	5
16	CT	6.74	8.22	8.05	7.62	1
11	CT	6.53	9.04	7.40	7.61	1
14	CT	6.15	9.23	7.09	7.60	1
20	Test.*	6.83	8.74	7.29	7.53	
19	Test.*	6.33	8.89	7.25	7.53	

* Ent. 19 = ICTA HB-83 y Ent. 20 = ICTA HB-85. En el ensayo de las Vegas se utilizaron en la Ent. 19 = CS(404x405 en L.V.-94A) y Ent. 20 = HS-7. ** = % sobre el testigo ICTA HB-85.

Cuadro 4. Cuadrados medios para rendimiento de los ensayos HTY-94 y HTW-94, evaluados en 2 localidades de Guatemala, 1994.

Fuente Var.	Cuy.	S.J.	Combinado
HTY-94			
Localidades			163.42**
Tratamientos	1.17**	4.86**	99.97**
Loc. x Trat.			1.86**
Error	0.48	0.86	0.67
HTW-94			
Localidades			75.49**
Tratamientos	1.45**	3.39**	3.27**
Loc. x Trat.			1.58**
Error	0.27	1.11	0.70

En los Cuadros 5 y 6 se presenta el rendimiento de grano en cada localidad a través de localidades de los 9 híbridos experimentales superiores comparados con los testigos incluidos en los ensayos HTY-94 HTW-94. Para esta selección se tomó en cuenta el rendimiento y características agronómicas, así como el tipo de híbrido (CS o CT).

Los híbridos superiores y los testigos que se presentan en los Cuadros 5 y 6 no mostraron diferencias significativas en base a la prueba de Tukey (P<0.05) del análisis combinado. En su mayoría los híbridos superiores correspondieron a CS como esperado. Estas CS no son alternativas inmediatas para el agricultor típico productor de maíz en Guatemala por el costo que representa la semilla certificada de CS's, sin embargo la información obtenida tiene su importancia inmediata para identificar líneas élites como germoplasma para involucrarlo en otros cruzamientos dentro del programa de híbridos de ICTA.

Cuadro 5. Rendimiento de grano (t/ha) de 9 híbridos superiores en el ensayo HTY-94 evaluado en 2 localidades de Guatemala, 1994.

Ent.	Hib.	Cuy	S. J.	Comb.	%**
15	CS	6.81	8.67	7.79	9
5	CS	7.02	8.22	7.64	7
7	CS	6.22	9.04	7.60	7
21	CT	5.64	9.06	7.40	4
16	CS	6.16	8.54	7.36	3
20	CT	5.75	8.09	6.95	
17	CS	6.29	7.64	6.92	
9	CS	5.87	7.65	6.75	
19	CT	5.72	7.57	6.63	
25	Exp.9122*	6.08	8.06	7.13	
24	HA-46*	5.80	7.60	6.72	

* Testigos del ICTA.

** % sobre el testigo Exp. 9122.

Cuadro 6. Rendimiento de grano (t/ha) de 7 híbridos superiores en el ensayo HTW-94 evaluado en 2 localidades de Guatemala, 1994.

Ent.	Hib.	Cuy.	S.J.	Comb.	%**
11	CS	6.96	8.61	7.87	11
7	CS	6.90	8.28	7.56	6
5	CS	6.42	8.62	7.46	5
15	CT	6.25	8.21	7.32	3
22	CT	6.27	7.22	7.20	1
14	CT	6.85	7.72	6.93	
21	CT	6.32	7.39	6.80	
25	HB-85*	7.42	6.90	7.11	
24	HB-83M*	6.29	6.69	6.48	

* Testigos comerciales del ICTA

**% sobre el testigo HB-85.

Los cruces triples superiores que se muestran en los Cuadros 5 y 6 expresaron rendimientos similares a los testigos, especialmente con el Exp. 9122 (Cuadro 5) y HB-83M (Cuadro 6), como tales no constituyen una alternativa en el corto plazo, sin embargo al igual que en los cruces simples. Las líneas que conforman los mejores híbridos triples pueden constituir germoplasma valioso para continuar estructurando nuevos cruces.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los híbridos superiores en los 4 ensayos de este estudio (CHTTY-94, CHTTW-94, HTY-94 y HTW-94) fueron cruces simples como esperado, sin embargo, debido al alto costo de la semilla certificada, estos híbridos no son una alternativa a corto plazo para Guatemala.

2. En general, los híbridos triples experimentales se comportaron similares en potencial de rendimiento a

los testigos comerciales y/o experimentales del ICTA incluidos en las evaluaciones.

3. Las líneas que conformaron las cruces simples y triples que expresaron potencial de rendimiento aceptable, se considera germoplasma valioso para involucrarlo en los programas de mejoramiento del ICTA y estructurar nuevos cruzamientos con otras fuentes élite con que cuenta el proyecto.

REFERENCIAS

Allard, R.W. 1980. Principios de la mejora genética de las plantas. Trad. al español por José L. Montoya. Ed. Omega, S.A. Barcelona, España. Cap. 22.

CIMMYT. 1990. World maize facts and trends, realizing the potential of maize in Sub-Saharan Africa. International Maize and Wheat Improvement Center. México. 71 p.

Córdova, H.S. 1990. Desarrollo y mejoramiento de germoplasma con resistencia a factores bióticos y abióticos y producción de semillas, estrategias y logros 1986-1991. Programa Regional de Maíz de CIMMYT para Centro América y El Caribe. Guatemala. 107 p.

Vasal, S.K., S. Pandey y J. Crossa. 1988. Desarrollo de híbridos no convencionales de maíz. In. Reunión Bianual de Maiceros de Zona Andina. (13., 1988. Chiclayo, Perú). Perú. Simposio. p. irr.

Evaluación Regional de Cruzas Dialélicas y Predicción de Híbridos de Maíz de Grano Blanco, PRM 1994

Mario Fuentes¹, Luis Larios¹, José Luis Quemé¹, Carlos Pérez¹ y Salvador Castellanos²

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar cruces dialélicos de 10 líneas elite de grano blanco del Programa Regional de Maíz (PRM), estimar los efectos de aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE) y realizar predicciones de rendimiento de cruces triples y dobles dentro del esquema del esquema de desarrollo de híbridos. Se establecieron ensayos con 49 tratamientos (45 cruces y 4 testigos) en un diseño de látice triple 7x7 a través de localidades en Guatemala, México y Nicaragua. Los valores de ACG y ACE se obtuvieron a través del diseño cuatro de Griffing y la predicción de híbridos con el método B de Jenkins. Los resultados indican diferencias significativas entre los diferentes tratamientos por localidad y a través de localidades. Se identificaron cruces simples con rendimientos entre 4.99 y 5.75 t/ha que superan al testigo HB-85 hasta en 17%. En relación a los efectos de ACG, las líneas 1 y 7 derivadas de las poblaciones 21 y 29 presentaron efectos positivos de 0.50 y 0.72 t/ha, respectivamente. Los cruces 5x3, 9x8 y 10x2 obtuvieron los mayores efectos de ACE con 1.12, 0.95 y 0.68 t/ha, respectivamente. La predicción de híbridos triples y dobles teóricamente superan hasta en 11 y 8% al testigo. Se sugiere evaluar los híbridos predichos en ensayos regionales para verificar los resultados.

El conocimiento de la capacidad combinatoria de líneas endocriadas de maíz aporta la información básica al mejorador en los programas de formación de híbridos. Los conceptos de ACG y ACE fueron introducidos por Sprague y Tatun (1942). En la práctica estos permiten seleccionar líneas con buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones híbridas específicas con un comportamiento superior a lo esperado en base al promedio de las líneas que intervienen en el cruzamiento.

Los diseños de apareamiento conocido como dialelos han sido ampliamente utilizados cuando se requiere conocer la aptitud combinatoria de un grupo selecto de

líneas endocriadas. Griffing (1956), presentó los detalles del análisis dialélico para modelos fijos (Modelo I) y para modelos aleatorios (Modelo II). El modelo I ha sido el de mayor aplicación cuando el mejorador está interesado en conocer la capacidad combinatoria de un grupo en particular de líneas, las cuales son consideradas como la población sobre la cual se harán inferencias. Los cruzamientos dialélicos en base al Método 4 de Griffing, ensaya un número de $P \times (P-1) / 2$ cruces F_1 posibles, pero no toma en cuenta el efecto materno y permite identificar las cruces que presente mejores características agronómicas deseables.

Los híbridos convencionales de líneas endocriadas se presentan como una alternativa para incrementar el rendimiento del maíz y utilizar eficientemente la heterosis en áreas con condiciones ambientales favorables y buen manejo agronómico. El PRM ha enfatizado el desarrollo de híbridos triples y dobles por la accesibilidad del insumo semilla por parte de los agricultores debido al bajo costo en relación al uso de semilla proveniente de la cruz simple.

Los objetivos específicos de este trabajo son: 1) estimar los efectos de aptitud combinatoria general y específica; 2) realizar predicciones de rendimiento de cruces dobles y triples a partir de la información de las cruces simples; y 3) generar híbridos con potencial de adaptación a las diferentes regiones maiceras de Centro América y el Caribe.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron 10 líneas de material genético diverso del Programa Regional de Maíz (PRM). Estas 10 líneas fueron identificadas en los ensayos regionales de 1993 en base a la mejor aptitud combinatoria a través de diferentes localidades de Centro América y El Caribe. El Cuadro 1 describe el origen y grado de endogamia de las líneas en estudio que sirvieron para formar el dialelo de 45 cruces simples (CS). Las condiciones de manejo agronómico de los ensayos en relación al control de plagas, malezas y fertilización dependió de la incidencia y de las recomendaciones de investigación de cada localidad en evaluación.

¹Técnicos del Programa de Maíz, ICTA, Guatemala; ²Postdoctorado, Programa de Maíz, CIMMYT-México.

Se obtuvieron datos del rendimiento del grano y de características agronómicas, como altura de planta y de mazorca, porcentaje de mazorcas con mala cobertura, porcentaje de mazorcas podridas, porcentaje de acame, etc. Se realizó un análisis de varianza individual y combinado a través de localidades para rendimiento al 15% de humedad. Los datos se ajustaron por covarianza.

Se calcularon estimaciones de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de las líneas y cruza involucradas. ACG es la media de las cruza de una línea media general de todas las cruza y ACE es el rendimiento de una cruza media general de todas las cruza ACG de un padre ACG del otro padre de la cruza. El análisis dialélico se realizó con el paquete estadístico Diallel.exe que incluye el método cuatro de Griffing, el cual evaluó $(P(P-1)/2)$ cruza posibles en un solo sentido. Con los resultados de las cruza simples se realizó la predicción de híbridos de cuatro y tres vías basado en el método B de Jenkins.

RESULTADOS

El Cuadro 2 presenta el análisis de varianza por localidad y combinado a través de localidades para rendimiento del grano (t/ha). Se observan diferencias altamente significativas entre los tratamientos por localidad y a través de localidades. La interacción Loc x Trat (LxT) fue significativa e indica que las cruza simples presentan diferente comportamiento a través de localidades. El mayor porcentaje de la variación se debe a la localidad con cuadrados medios de 107.52.

La localidad de Cuyuta, Guatemala presentó el mayor rendimiento con 5.21 t/ha. Nicaragua fue la localidad con menor rendimiento con 3.50 t/ha. Los coeficientes de variación oscilaron entre 11 y 23%, respectivamente. El Cuadro 3 presenta el rendimiento de las 8 cruza simples superiores por localidad y a través de localidades.

El Cuadro 5 presenta la estimación del efecto de aptitud combinatoria general (ACG). Las líneas 1, 4 y 7 presentan ACG positiva equivalente a 0.49, 0.34 y 0.72 t/ha, respectivamente. Las otras líneas expresan estimaciones negativas. El efecto de aptitud combinatoria específica se presenta en el Cuadro 6. Los mayores efectos positivos se identificaron entre las cruza 5x3, 9x8 y 10x2 con valores de 1.12, 0.95 y 0.68 t/ha, respectivamente. Estos resultados indican que se han identificado cruza entre líneas divergentes que pueden incrementar la heterosis al conformar nuevos

cruza híbridos.

Las cruza con efectos positivos de ACE también mostraron altos rendimientos en las localidades en evaluación. El método B de Jenkins seleccionó las mejores cruza simples para realizar la predicción de híbridos dobles y triples que se presentan en el Cuadro 7 y que posteriormente se evaluarán extensivamente a través de diferentes ambientes de Centro América y El Caribe.

Los híbridos dobles predichos presentan rendimientos entre 5.10-5.28 t/ha y equivale a 4-8% de heterosis en relación al testigo HB-85. Mientras que los híbridos triples predichos rinden entre 5.23-5.44 t/ha que equivale a 6-11% sobre el testigo. El rendimiento de la cruza simple de la hembra que conformaría el futuro híbrido oscila entre 4.12-5.13 t/ha. Este factor es de importancia económica considerando la expectativa en el futuro de la producción comercial de la semilla híbrida.

Cuadro 1. Descripción de las 10 líneas de maíz de grano blanco que originaron a las cruza dialélicas, PRM 1994.

Prog	Código	Cuy 94A	Endo gami a	Fuente
1	PRM 94-B1	4225	S4	Pob. 21
2	PRM 94-B3	4211	S9	H233
3	PRM 94-B4	4210	S4	SR-8073
4	PRM 94-B7	4215	S4	Pob. 73
5	PRM 94-B9	4216	S4	Pob. 73
6	PRM 94-B11	4220	S4	Pob. 73
7	PRM 94-B13	4234	S3	CML 34= Pob. 29
8	PRM 94-B15	4228	S1	Pool Diplodia C
9	PRM 94-B17	4213	S8	H233
10	PRM-94-19	4233	S3	CML 24= Pob. 25

Cuadro 2. Análisis de varianza para rendimiento (t/ha) en las localidades en evaluación, PRM 1994.

F.V	g.l	Cuadrados medios			
		Nicar	Méx	Comb.	Cuyuta
Localidad	2				107.5**
Tratamiento	48	3.4**	1.0**	4.0**	4.63**
Loc x trat.	96				1.90**
Error	234	0.42	0.24	1.36	0.67
Media t/ha		5.21	3.50	4.26	4.32
C.V. (%)		11	12	23	9
ERL/BCA		182	207	162	512

** : Significativo al 1% de probabilidad

Cuadro 3. Rendimiento del grano (t/ha) de las mejores cruzas simples, PRM 1994.

Cruza	Cuyuta	Nicaragua	Mexico	Combinado	% s/HB-85
5x7	6.996	4.030	6.293	5.746	117
1x3	5.943	3.325	6.782	5.350	109
4x7	7.433	3.545	5.024	5.328	109
1x7	6.055	3.389	5.938	5.131	104
1x4	6.387	4.521	4.453	5.127	104
3x7	5.812	3.338	6.097	5.097	104
6x7	5.898	4.245	4.788	4.996	102
1x2	5.750	4.018	5.155	4.993	102
Testigos					
HB-85	5.717	3.458	5.456	4.910	100
GB-43 x GB-45	4.583	3.041	7.103	4.928	
GB-35 c GB-41	5.015	3.433	3.863	4.127	
Media General	5.206	3.499	4.261	4.322	

Cuadro 4. Análisis dialélico combinado para rendimiento de las cruzas simples de 10 líneas de maíz de grano blanco, PRM 1994.

F.V	g.l	Cuadrado Medio	Fc
Localidad	2	44.06	75.96**
Rep (Loc)	6	4.12	7.10
Tratamiento	44	5.06	8.72**
ACG	9	8.71	15.02**
ACE	35	4.13	7.12**
Loc x Trat	88	0.99	1.71
LxACG	18	2.67	4.60
LxACE	70	0.56	0.96
Error	263	0.58	

** : Significativo al 1% de probabilidad.

Cuadro 5. Estimación del efecto de Aptitud Combinatoria General (ACG) combinado en t/ha de diez líneas de maíz blanco a través de tres localidades. PRM-1994.

Progenitor	CUY-94A	ACG
1	4225	0.495
2	4211	-0.165
3	4210	-0.029
4	4215	0.034
5	4216	-0.101
6	4220	-0.032
7	4234	0.716
8	4228	-0.342
9	4213	-0.348
10	4233	-0.228

Cuadro 6. Estimación del efecto de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) combinado en t/ha de cruzas simples de maíz grano blanco a través de tres localidades. PRM-1994.

Progenitor	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	0.463								
3	0.122	-0.946							
4	0.431	0.469	0.385						
5	-0.015	0.375	1.124	-2.153					
6	0.021	-0.006	0.254	-0.096	-0.646				
7	-0.425	0.192	-0.142	0.528	0.570	0.124			
8	-0.281	0.553	-0.409	0.137	0.082	0.002	-0.677		
9	0.041	-1.780	-0.610	0.328	0.401	0.374	0.263	0.943	
10	-0.357	0.679	0.222	-0.030	2.610	-0.028	-0.433	-0.351	0.038
E.E.D ¹									0.579
E.E.D ²									0.536

¹Error estándar entre la diferencia de dos cruzas que tienen un padre en común.

²Error estándar entre la diferencia de dos cruzas que no tienen un padre en común.

Cuadro 7. Medias de rendimiento (t/ha) de los mejores híbridos dobles y triples predichos de grano blanco. PRM-1994.

Híbrido Predicho	Rendimiento predicho	% sobre HB-85	Rendimiento Hembra
Dobles			
(5x1) (7x3)	5.28	108	5.09
(7x1) (4x2)	5.23	107	5.13
(7x1) (5x4)	5.22	106	5.13
(7x1) (5x3)	5.22	106	5.13
(7x3) (5x4)	5.15	105	5.06
(5x4) (9x7)	5.13	104	4.69
(7x3) (6x5)	5.13	104	5.09
(4x1) (6x5)	5.11	104	5.12
(5x1) (7x2)	5.10	104	5.09
Triples			
(5x1) (7)	5.44	111	4.67
(5x3) (7)	5.42	110	4.88
(6x5) (7)	5.37	109	4.12
(7x3) (5)	5.32	108	5.09
(5x2) (7)	5.30	108	4.51
(9x7) (5)	5.29	108	4.70
(7x3) (1)	5.24	106	5.09
(4x3) (1)	5.24	106	4.62
(7x1) (4)	5.23	106	5.13
HB-85			
	4.91	100	
GB-43xGB45	4.93		
GB-35xGB-41	4.13		

CONCLUSIONES

1. Se identificaron las líneas 1 y 7 (4225 y 4234 CUY94A) que expresaron estimados de ACG de 0.495 y 0.715 t/ha.
2. Las mejores 8 cruzas simples expresaron rendimientos de 4.99 a 5.75 t/ha y superaron entre 2 y 17% al testigo HB-85.
3. Se identificaron cruces simples con estimados hasta de 1.124 t/ha de ACE. Estos cruces se pueden considerar en cruces dirigidos con otras líneas del Proyecto.
4. Se estimó la predicción de híbridos dobles y triples experimentales que superan teóricamente al testigo HB-85 en hasta 8 y 11 %, respectivamente.

REFERENCIAS

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.

Sprague, G.F. and L.A. Tatum. 1942. General versus specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923-932.

Evaluación Regional de Cruzas Dialélicas y Predicción de Híbridos de Maíz de Grano Amarillo, PRM 1994

Mario Fuentes¹, Luis Larios¹, José Luis Quemé¹, Carlos Pérez¹ y Salvador Castellanos²

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar cruces dialélicos de 10 líneas elite de grano amarillo del Programa Regional de Maíz (PRM), estimar los efectos de aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE) y realizar predicciones de rendimiento de cruces triples y dobles dentro del esquema del esquema de desarrollo de híbridos. Se establecieron ensayos con 49 tratamientos (45 cruces y 4 testigos) en un diseño de látice triple 7x7 a través de localidades en Guatemala y CIMMYT, México. Los valores de ACG y ACE se obtuvieron a través del diseño cuatro de Griffing y la predicción de híbridos con el método B de Jenkins. Los resultados indican diferencias significativas entre los tratamientos por localidad y a través de localidades. Se identificaron cruces simples con rendimientos entre 5.04 y 5.59 t/ha que superan al testigo HA-46 en 6%. En relación a los efectos de ACG, las líneas 3 y 4 derivadas de la Población 36 y 24 presentaron efectos positivos de 2.05 y 2.79 t/ha, respectivamente. Las cruces 5x3, 7x3 y 4x1 obtuvieron los mayores efectos de ACE con 0.86, 0.73 y 0.61 t/ha, respectivamente. Se efectuó predicción de híbridos triples que teóricamente superan en 6% al testigo. Se sugiere evaluar los híbridos predichos en ensayos regionales para verificar los resultados.

El conocimiento de la capacidad combinatoria de líneas endocriadas de maíz aporta la información básica al mejorador en los programas de formación de híbridos. Los conceptos de ACG y ACE fueron introducidos por Sprague y Tatum (1942). En la práctica estos permiten seleccionar líneas con buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones híbridas específicas con un comportamiento superior a lo esperado en base al promedio de las líneas que intervienen en el cruzamiento.

Los diseños de apareamiento conocido como dialelos han sido ampliamente utilizados cuando se requiere conocer la aptitud combinatoria de un grupo selecto de líneas endocriadas. Griffing (1956), presentó los detalles del análisis dialélico para modelos fijos (Modelo I) y

para modelos aleatorios (Modelo II). El modelo I ha sido el de mayor aplicación cuando el mejorador está interesado en conocer la capacidad combinatoria de un grupo en particular de líneas, los cuales son considerados como la población sobre la cual se harán inferencias. Los cruzamientos dialélicos en base al Método 4 de Griffing, ensaya un número de $P \times (P-1) / 2$ cruces F_1 posibles, pero no toma en cuenta el efecto materno y permite identificar las cruces que presente mejores características agronómicas deseables.

Los híbridos convencionales de líneas endocriadas se presenta como una alternativa tecnológica para incrementar el rendimiento del maíz y utilizar eficientemente la heterosis en áreas con condiciones ambientales favorables y buen manejo agronómico. El PRM ha enfatizado en el desarrollo de híbridos triples y dobles por la accesibilidad del insumo semilla por parte de los agricultores debido al bajo costo en relación al uso de semilla proveniente de cruce simple.

Los objetivos específicos de este trabajo son: 1) estimar los efectos de aptitud combinatoria general y específica; 2) realizar predicciones de rendimiento de cruces dobles y triples a partir de la información de las cruces simples; y 3) generar híbridos con potencial de adaptación a las diferentes regiones maiceras de Centro América y el Caribe.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 10 líneas de material genético diverso del Programa Regional de Maíz (PRM). Estas 10 líneas fueron identificadas en los ensayos regionales de 1993 en base a la mejor aptitud combinatoria a través de diferentes localidades de Centro América y el Caribe. El Cuadro 1 describe el origen y grado de endogamia de las líneas en estudio que sirvieron para formar un dialelo de 45 cruces simples (CS). Las condiciones de manejo agronómico de los ensayos en relación al control de plagas, malezas y fertilización dependió de la incidencia y de las recomendaciones de investigación de cada localidad en evaluación.

¹Técnicos del Programa de Maíz, ICTA, Guatemala, ²Postdoctorado, Programa de Maíz, CIMMYT-México.

Cuadro 1. Descripción de las 10 líneas de maíz de grano amarillo que originaron las cruzas dialélicas, PRM 1994.

Progenitor	Código	Cuy-94A	Endogamia	Fuente
1	PRM 94-A2	4303	S4	Pool 26
2	PRM 94-A4	4310	S4	Pool 26
3	PRM 04-A6	4313	S5	Pob 36
4	PRM 94-A8	4315	S6	CML 21=Pob 24
5	PRM 94-A10	4304	S4	Pool 26
6	PRM 94-A12	4311	S4	Pool 26
7	PRM 94-A14	4308	S4	Pool 26
8	PRM 94-A16	4305	S4	Pool 26
9	PRM 94-A18	4306	S4	Pool 26
10	PRM 94-A20	4307	S4	Pool 26

Los ensayos se realizaron en Cuyuta y CIMMYT, México. Se utilizó el diseño de látice triple 7x7 con tres repeticiones. Se evaluaron 45 cruzas simples y 4 testigos. La parcela experimental consistió de dos surcos de maíz de 5 m de longitud. La parcela útil fue de 44 plantas que equivale a una densidad de población de 5.30 plantas/m². Los ensayos se ubicaron en localidades comprendidas entre 0-1000 msnm en el ciclo de junio-octubre de 1994.

Se obtuvieron datos del rendimiento del grano y de características agronómicas, como: altura de planta y de mazorca, porcentaje de mazorcas con mala cobertura, porcentaje de mazorcas podridas, porcentaje de acame, etc. Se realizó un análisis de varianza individual y combinado a través de localidades para rendimiento al 15% de humedad. Los datos se ajustaron por covarianza.

Se calcularon estimaciones de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de las líneas y cruzas involucradas para rendimiento. ACG es la media de las cruzas de una línea media general de todas las cruzas y ACE es el rendimiento de una craza media general de todas las cruzas ACG de un padre otro padre de la craza.

El análisis dialélico se realizó con el paquete estadístico Diallel.exe que incluye el método cuatro de Griffing, el cual evaluó $(P(P-1)/2)$ cruzas posibles en un solo sentido. Con los resultados de las cruzas simples se realizó la predicción de híbridos de cuatro y tres vías basado en el método B de Jenkins.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 2 presenta el análisis de varianza por localidad y combinado a través de localidades para

rendimiento del grano en t/ha. Se observaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos por localidad y a través de localidades. La interacción Loc X Trat (LxT) fue significativa e indica que las cruzas simples presentaron diferente comportamiento a través de localidades. El mayor porcentaje de la variación se debe al efecto del cuadrado medio de localidad con 98.56. La localidad de Cuyuta, Guatemala presentó el mayor rendimiento con 3.53 t/ha, mientras que la localidad de CIMMYT-México rindió 2.38 t/ha. Los coeficientes de variación oscilaron entre 11 y 17%, respectivamente.

El Cuadro 3 presenta el rendimiento en t/ha de las 8 cruzas simples superiores por localidad y a través de localidades. El rendimiento expresado por las cruzas simples osciló entre 5.04-5.59 t/ha comparado con el testigo HA-46, que rindió 5.25 t/ha. Las cruzas simples no presentan diferencias significativa en relación al testigo, aunque algunas cruzas lo superan hasta en 6%.

El Cuadro 4 presenta el análisis combinado del diallelo para la variable rendimiento de las 10 líneas de maíz. Los efectos de ACG y ACE son altamente significativos y provocan efectos aditivos y de dominancia, respectivamente. La varianza no aditiva adquiere importancia en las cruzas entre progenitores no emparentados por obtener mayor expresión de efectos heteróticos.

En el Cuadro 5 se presenta la estimación del efecto de aptitud combinatoria general (ACG). Las líneas 3 y 4 presentan ACG positiva equivalente a 2.05 y 2.79 t/ha, respectivamente. Las líneas restantes expresan estimaciones negativas. El efecto de aptitud combinatoria específica se presenta en el Cuadro 6. Los mayores efectos positivos se identificaron entre las cruzas 5x3, 7x3 y 10x4 con valores de 0.86, 0.73 y 0.75 t/ha, respectivamente. Estos resultados indican que se han identificado cruzas entre líneas divergentes que pueden contribuir a incrementar la heterosis al conformar nuevos cruces híbridos.

Las cruzas con efectos positivos de ACE también mostraron altos rendimientos en las localidades en evaluación. El método B de Jenkins seleccionó las mejores cruzas simples para realizar la predicción de híbridos. Solamente se identificaron híbridos triples que superan al testigo HA-46 que se presentan en el Cuadro 7 y que posteriormente se evaluarán extensivamente a través de diferentes ambientes de Centro América y El Caribe.

Cuadro 2. Resumen del análisis de varianza para rendimiento (t/ha) en las localidades en evaluación, PRM 1994.

F.V	g.l	Cuadrados Medios		
		Cuyuta	México	Combinado
Localidad	1			98.56**
Tratamiento	48	12.33**	8.76**	20.14**
Loc x Trat.	96			0.95**
Error	234	0.23	0.24	0.24
Media t/ha		3.534	2.376	2.955
C.V. %		11	17	10
ERL/BCA		152	154	306

** : Significativo al 1% de probabilidad

Cuadro 3. Rendimiento del grano (t/ha) de las mejores cruzas simples, PRM 1994.

Cruza	Cuyuta	Mexico	Combinado	% s/HA-46
4x5	6.236	4.935	5.588	106
4x10	6.549	4.598	5.573	106
1x4	6.386	4.552	5.468	104
4x7	6.245	4.597	5.424	103
2x4	6.471	4.357	5.416	99
3x5	6.299	4.168	5.232	99
4x6	5.837	4.355	5.094	97
4x9	5.676	4.418	5.043	96
Testigos				
HA-46	5.501	4.997	5.249	100
GA-44 x GA-46	5.003	5.809	5.406	
Media General	3.534	2.376	2.955	

Cuadro 4. Análisis dialélico combinado para rendimiento de las cruzas simples de 10 líneas de maíz de grano amarillo, PRM-1994.

Fuente de Var.	g.l	C.M
Localidad	1	110.495**
Rep (Loc)	4	0.081
Tratamiento	44	18.177**
ACG	9	79.910**
ACE	35	2.310**
LxT	44	0.710**
LxACG	9	35.310**
LxACE	35	8.850**
Error	176	0.23

** : Significativo al 1% de probabilidad

Cuadro 5. Estimación del efecto de Aptitud Combinatoria General (ACG) en t/ha de 10 líneas de maíz amarillo a través de dos localidades, PRM 1994.

Progenitor	CUY-94A	ACG
1	4303	-0.638
2	4310	-0.610
3	4313	2.052
4	4315	2.785
5	4304	-0.399
6	4311	-0.542
7	4308	-0.557
8	4305	-0.776
9	4306	-0.609
10	4307	-0.706

Cuadro 6. Estimación del efecto de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) combinado en t/ha de cruza simples de maíz grano amarillo a través de dos localidades, PRM 1994.

Prog.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	-0.095								
3	0.273	0.102							
4	0.609	0.494	-2.954						
5	-0.443	-0.122	0.856	0.419					
6	-0.353	0.125	-0.207	0.041	0.067				
7	-0.283	0.040	0.728	0.405	-0.142	-0.023			
8	0.127	-0.275	0.368	0.041	0.008	0.185	-0.203		
9	0.116	-0.152	0.479	0.194	-0.250	0.326	-0.392	-0.101	
10	0.048	-0.116	0.354	0.752	-0.385	-0.162	-0.131	-0.142	-0.218
E.E.D ¹									0.3663
E.E.D ²									0.3391

¹Error estándar entre la diferencia de dos cruza que tienen un padre en común.²Error estándar entre la diferencia de dos cruza que no tienen un padre en común.**Cuadro 7. Medias de rendimiento (t/ha) de los mejores híbridos triples predichos de grano amarillo, PRM 1994.**

Híbrido Predicho	Rendimiento Predicho	% s/ HA-46	Rendimiento Hembra
Triples			
(5x4) x (7)	5.54	106	5.58
(5x3) x (7)	5.42	103	5.23
(7x3) x (5)	5.32	101	4.92
(7x3) x (1)	5.24	101	4.92
(4x3) x (1)	5.24	99	4.62
(4x1) x (7)	5.23	99	5.46
HA-46	5.25	100	
GA-44xGA-46	5.40		

Los híbridos triples predichos rinden entre 5.23 y 5.54 t/ha que equivale hasta 6% sobre el testigo. El rendimiento de la cruce simple de la hembra que conformaría el futuro híbrido oscila entre 4.92-5.58 t/ha. Este factor es de importancia económica considerando la expectativa en el futuro de la producción comercial de la semilla híbrida.

CONCLUSIONES

1. Se identificaron las líneas 3 y 4 (4313 y 4315 CUY 94A) con estimados de ACG de 2.05 y 2.79 t/ha.
2. Las mejores 8 cruces simples expresaron rendimientos de 5.04 a 5.59 t/ha y superaron en hasta 6% al testigo HA-46.
3. Se identificaron cruces simples con estimados hasta

de 0.86 t/ha de ACE. Estos cruces se pueden considerar en cruces dirigidos con otras líneas del Proyecto.

4. Se estimó la predicción de híbridos triples experimentales que superan teóricamente al testigo HA-46 hasta en 6%.

REFERENCIAS

- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Sprague, G.F. and L.A. Tatum. 1942. General versus specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923-932.

Comportamiento de Híbridos Tropicales de Maíz en Ensayos Internacionales de CIMMYT durante 1994-1995

Félix San Vicente¹, Surinder K. Vasal², Scott McLean³, Kumar Ramanujam¹, Miguel Barandiarán³, Antonio Ramírez⁴ y José G. Avila⁴

RESUMEN

En 1994, CIMMYT inició la evaluación de híbridos tropicales en ensayos internacionales. Los híbridos fueron codificados usando el sistema de nomenclatura del CIMMYT, sin embargo, la genealogía completa fue suministrada a los Programas Nacionales colaboradores en las hojas maestras. En 1994 y 1995, los ensayos estuvieron conformados por 20 entradas. En el primer año fueron incluidos como testigos una variedad de referencia y dos híbridos locales, mientras que en el segundo año fueron incluidos como testigos un híbrido simple de referencia y dos híbridos locales. De los ensayos de híbridos tropicales blancos (CHTTW), se recibieron resultados de 27 localidades, donde los rendimientos de fluctuaron entre 5.9 y 6.9 t/ha. Los híbridos superiores rindieron entre 6.5-6.9 t/ha. Algunos de los híbridos superiores también resultaron muy estables. Las líneas involucradas fueron: CML 264, 273, 247, 274, 254, 258 y 270. El mejor híbrido superó en 20% a la variedad testigo La Posta Sequía C3. Algunos híbridos superaron en 8% a los mejores híbridos testigos incluidos por los programas nacionales. Con respecto al ensayo de híbridos tropicales amarillos (CHTTY), se recibieron resultados de 32 localidades. En general, los híbridos amarillos rindieron menos que los blancos y su comportamiento no fue muy superior al de los mejores híbridos testigos incluidos en los diferentes países. La línea CML-287 estuvo involucrada en algunos de los híbridos con mejor rendimiento. Las otras líneas que parecen prometedoras son: CL-00331, CL-02808, CML-297 y CML-298.

El desarrollo de híbridos de maíz en CIMMYT es el resultado de un gran esfuerzo. El programa se inició a principios de los 1980's considerando la necesidad del desarrollo de híbridos en los países en vías de desarrollo. El énfasis dado al desarrollo de híbridos vs variedades de polinización abierta ha sido inconsistente en el mundo en desarrollo en los últimos 50 años. Sin embargo, durante la década anterior el interés en el

desarrollo y promoción de híbridos incrementó rápidamente. No sólo ha habido evolución en el tipo de híbridos de maíz, sino que en algunos países ha habido un proceso trascendental al colocar mayor énfasis en el desarrollo de híbridos simples. Un esfuerzo modesto se inició en CIMMYT en 1985 hacia el desarrollo de híbridos, enfatizando la generación de información sobre la habilidad combinatoria, el desarrollo de fuentes para híbridos, el desarrollo de progenitores endocriados y no endocriados, investigación en probadores, y desarrollo y prueba de híbridos de maíz convencionales y no convencionales (Vasal y McLean, 1994). Hasta 1994, la evaluación de híbridos de maíz tropical se limitó a pocas localidades en Centro América, México y en algunas localidades de prueba de los programas regionales de maíz ubicados en Cali, Tailandia y Costa de Marfil. En 1994, CIMMYT formó con un importante esfuerzo dos ensayos de híbridos tropicales de madurez completa, uno de color blanco y el otro amarillo. Estos ensayos son (CHTTW) tropical, de color blanco, (CHTTY) tropical de color amarillo, los cuales se pusieron a prueba a nivel internacional. En 1996, se considera la introducción de un ensayo adicional de maíz híbrido precoz. En este informe presentaremos los resultados de los ensayos conducidos durante 1994 y 1995.

MATERIALES Y METODOS

En 1994 cada ensayo consistió de 20 entradas, incluyendo 2 testigos híbridos locales y una variedad de polinización abierta. En 1995 la variedad testigo fue eliminada y reemplazada por un híbrido de referencia (el más rendidor en los ensayos internacionales de híbridos de 1994). Cada ensayo constaba de 4 repeticiones y 2 surcos de 5 m de largo distanciados 0.75 m aproximadamente. En cada año más de 60 juegos fueron distribuidos, sin embargo, la información no fue analizada en todas las localidades. Los resultados que se presentarán incluyen información a través de localidades a nivel mundial, al igual que datos pertinentes a localidades ubicadas en Centro América. Los resultados presentados incluirán rendimiento y otras características agronómicas.

¹ Post-Doctorado, Programa de Maíz; ²Coordinador Subprograma de Maíz para Trópicos Bajos; ³Científico Asociado, ⁴Ingeniero Agrónomo, respectivamente, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En 1994 se distribuyó el ensayo CHTTW, y se cuenta con los resultados de 27 localidades, los cuales se presentan en el Cuadro 1. Algunos de los híbridos se desarrollaron muy bien, registrando rendimientos de 6.4-6.9 t/ha. También, en base a la información a través de localidades, podemos destacar que varios híbridos mostraron superioridad sobre el mejor testigo híbrido incluido en cada localidad. La mayoría de los híbridos tuvieron mejor rendimiento que la variedad La Posta seca C3. Por lo menos 3 híbridos mostraron una superioridad mayor al 23% comparada con el testigo varietal. A través de localidades, algunos de los mejores híbridos de CIMMYT mostraron menor altura de planta que el mejor testigo híbrido incluido en diferentes localidades. En promedio, los híbridos de CIMMYT parecen ser más tardíos que las entradas locales incluidas en el ensayo. A juzgar por los valores del coeficiente de regresión (b) de Eberhart y Russell (1966), la mayoría de estos híbridos parecen ser bastante estables. La información respecto a los híbridos de comportamiento superior en Centro América se indican en el Cuadro 2. El híbrido más rendidor en cada país estuvo entre 6 t/ha y más. En una localidad de altitud media como San Jerónimo, Guatemala; el rendimiento más alto fue de 10.5 t/ha. Indudablemente el mejor híbrido de CIMMYT en cada localidad fue mejor que el mejor testigo local. El porcentaje de superioridad sobre el mejor híbrido local varió entre 180 -106%.

Con respecto al ensayo CHTTY, distribuido en 1994 se obtuvieron resultados de 32 localidades. Los híbridos amarillos no tuvieron rendimientos tan altos como los híbridos blancos (Cuadro 3). El rendimiento de algunos de los mejores híbridos varió de 5.4-5.8 t/ha comparable con el promedio del testigo híbrido local cuyo rendimiento fue de 5.6 t/ha. El híbrido CML 287 x CL 00331 estuvo en el tope de rendimiento a través de localidades y fue 4% superior al mejor testigo híbrido. Así como en el caso de los ensayos de híbridos blancos en los ensayos de híbridos amarillos, los híbridos superiores fueron entre 19-27% mejores que el mejor testigo varietal (Across 8627)RE. Una vez más la estabilidad estimada por los valores de b indica que estos híbridos fueron bastante estables a través de localidades.

El comportamiento de híbridos amarillos en Centro América y el Caribe se presentan en el Cuadro 4. El rendimiento del mejor híbrido de CIMMYT varió de 4.9 t/ha en San Cristóbal, República Dominicana, a 10.2 t/ha en San Jerónimo, Guatemala. Invariablemente en las localidades de cada país, el mejor híbrido de CIMMYT fue superior al mejor testigo local variando entre 58-3%. El híbrido CML287 x CL00331 mostró superioridad en dos localidades de Guatemala y en dos localidades de Panamá.

Cuadro 1. Resultados del ensayo internacional de híbridos blancos de CIMMYT (CHTTW) - 1994*

Genealogía(CML)	Rend.(t/ha)	Sup.Test.(%)	Alt. Plt.(cm)	Flor. Fem.(días)	b
264 x 273	6.9	108	215	64	1.0
247 x 274	6.9	108	217	64	1.1
247 x 254	6.9	108	203	64	1.1
264 x 258	6.7	105	212	64	1.1
270 x 258	6.5	102	215	62	0.9
T-2B x CML-254	6.5	102	228	64	1.0
251 x 267	6.4	100	218	64	1.2
POSTA SEQ. C3	5.6	87	216	62	0.9
MEJOR TESTIGO	6.4	—	236	60	1.0
LSD (0.05)	0.4	98	226	64	1.0
CV (%)	11.4				

* 27 Localidades

Cuadro 2. Mejores híbridos blancos (CHTTW) en Centro América - 1994

Localidad	País	Genealogía	Mejor Híb. (t/ha)	Mejor Test. (t/ha)	Sup.Test. (%)
E.E. H. TAP.	Nicaragua	CML-247 x CML-274	6.8	5.5	124
San Jerónimo.	Guatemala	CML-251 x CML-267	10.5	9.0	117
Cuyuta	Guatemala	CML-247 x CML-254	7.3	6.9	106
Las Vegas	Guatemala	CML-247 x CML-254	8.4	7.2	117
Omonita	Honduras	CML-247 x CML-254	6.3	4.7	134
San Andrés	Salvador	T-2B x CML-254	7.1	6.1	116
EEEJN Cañas	Costa Rica	CML-247 x CML-254	7.4	4.1	180

Cuadro 3. Resultados del ensayo internacional de híbridos amarillos de CIMMYT (CHTTY) - 1994*

Genealogía	Rend.(t/ha)	Sup.Test.(%)	Alt.Plt.(cm)	Flor.Fem.(días)	b
CML-287 x CL-00331	5.8	104	222	61	1.0
CL-02808 x CML-287	5.5	98	226	60	1.1
T-4A x CML-297	5.5	98	216	61	1.1
CML-287 x CML-298	5.5	98	207	59	1.0
T-2A x CML-297	5.4	96	220	61	1.1
CML-299 x CL-00331	5.4	96	212	59	0.9
CML-297 x CML-304	5.4	96	216	60	1.0
ACROSS 8627 (RE)	4.3	77	201	58	0.8
MEJOR TESTIGO	5.6	---	221	58	
LSD (0.05)	0.3				
CV (%)	14.6				

* 32 Localidades

Cuadro 4. Mejores híbridos amarillos (CHTTY) en Centro América y Caribe-1994.

Localidad	País	Genealogía	Mejor Híb. (t/ha)	Test. (t/ha)	S.Test. (%)
Las Vegas	Guatemala	CML-287 x CL-00331	8.7	7.7	113
Cuyuta	Guatemala	CML-287 x CL-00331	6.8	6.6	103
San Jerónimo.	Guatemala	T-2A x CML-303	10.2	8.7	117
Ejido	Panamá	CML-287 x CML-298	6.5	5.8	112
Parita	Panamá	T-4A x CML-297	7.6	7.1	107
Río Hato	Panamá	CML-287 x CL-00331	6.4	5.7	112
Sta. Cruz	Salvador	CL-02808 x CML-287	7.3	6.2	118
EEEJN Cañas	Costa Rica	CML-285 x CL-00331	6.7	5.9	114
S.J. Maguana	Rep. Dom.	T-4A x CML-305	6.6	4.9	135
San Cristóbal	Rep. Dom.	T-2A x CML-303	4.9	3.1	158

Los resultados del CHTTW conducido durante el año 1995 son mostrados en el Cuadro 5. Únicamente se incluye información de 13 localidades, los mejores híbridos que aparecen en el cuadro tuvieron un rendimiento promedio entre 6.0 - 6.4 t/ha, en contraste con el rendimiento de 5.6 t/ha del mejor híbrido local incluido por los programas nacionales. El híbrido testigo de referencia CML 247 X 254 fue el híbrido de menor estatura comparado con las entradas sobresalientes y el mejor híbrido testigo local.

Los resultados promedio de 18 localidades de prueba para el ensayo CHHTY durante el año 1995 son presentados en el Cuadro 6. El híbrido de referencia CML287 x CL00331 obtuvo el mejor rendimiento (5.6 t/ha) en contraste con el testigo híbrido local con 4.99 t/ha. Los híbridos más rendidores no difirieron del híbrido testigo local en madurez así como en otras características (altura de planta y mazorca), sin embargo, pocos híbridos parecieron exhibir mala cobertura comparados con los híbridos testigos locales.

Cuadro 5. Resultados del ensayo internacional de híbridos tropicales blancos del CIMMYT (CHTTW) durante 1995 (13 localidades)

Entrada	Pedigree CML	Rend. Kg/ha	Flor. Fem. Días	Alt. Plt. cm	Alt. Maz. Cm	Ac. Tallo %	Ac. Raiz %	Pud. Maz.	Mala Cob.	Asp. Maz
12	247 x 250	6448	53	237	124	5	10	3	6	2.4
15	247 x 274	6443	54	236	126	5	3	3	27	2.4
8	9 x 42	6422	55	250	122	3	8	4	10	2.6
5	9 x 47	6349	53	242	122	3	5	4	8	2.5
18(RE)	247 x 254	6334	54	219	118	3	1	4	8	2.3
16	264 x 273	6293	55	231	112	3	2	2	16	2.6
3	258 x 273	6266	54	250	134	3	8	3	26	2.8
6	9 x 36	6203	53	241	122	4	3	3	1	2.5
7	8 x 24	6088	55	245	124	5	20	4	15	2.9
14	258x264	6071	55	231	113	2	3	3	4	2.4
Mej. Test.		5570	54	238	122	4	5	3	10	2.6
LSD(0.05)		477	1	6	5					
CV(%)		10	2	3	5					

Cuadro 6. Resultados del ensayo internacional de híbridos tropicales amarillos del CIMMYT (CHTTY) durante 1995 (18 localidades).

Entrada	Pedigree CML	Rend. Kg/ha	Flor. Fem. días	Alt. Plt. cm	Alt. Maz. cm.	Ac. Tallo %	Ac. Raiz %	Pud. Maz. %	Mala Cob.	Asp. Maz
18(RE)	287 x CL-00331	5613	57	238	129	2	3	3	25	2.4
9	T4A x 287	5571	57	245	133	5	4	8	11	2.8
16	287 x 298	5396	57	228	121	5	3	5	14	2.4
1	285 x 287	5282	57	238	126	7	4	7	8	2.6
15	T4A x 297	5232	59	236	123	3	5	7	9	2.6
14	T2A x CL-00332	5131	57	228	119	5	3	5	7	2.7
12	T4A x 296	5091	57	233	127	4	6	7	16	2.8
10	T4A x 303	5086	59	234	129	6	3	7	23	2.8
13	T2A x 297	4998	58	235	124	4	2	5	11	2.8
17	295 x 297	4989	57	230	129	3	4	4	11	2.5
Mej. Test.		4991	57	235	125	5	4	6	13	2.7
LSD(0.05)		434	1	5	4					
CV(%)		13	1	3	4					

Cuadro 7. Comportamiento per se y en cruzas de líneas elite tropicales blancas

CML No.	ACG	per se (t/ha)	cruza (t/ha)	PM (%)	Ach (%)
247	0.4	3.0	7.4	11	14
254	0.3	1.9	7.4	10	18
258	0.2	2.4	6.7	10	31
264	0.5	2.1	7.1	9	6
270	0.3	1.9	6.4	8	12
273	0.5	3.6	7.1	6	11
274	0.4	3.1	7.2	10	13
Test. Loc.(1)		3.4	6.0	6	11
Test. Loc.(2)		2.4	5.8	13	30

Cuadro 8. Comportamiento per se y en cruzas de líneas elite tropicales amarillas.

CML No.	ACG	Per se (t/ha)	Cruza (t/ha)	P.M. (%)	Acha. (%)
287	0.8	3.1	6.6	21	9
CL-00331	0.6	2.2	6.6	9	—
298	0.2	2.9	6.4	18	8
297	0.7	2.8	6.3	13	10
CL-02808	0.3	2.7	6.4	16	9
295	0.1	2.6	6.1	11	8
Test.Loc.(1)		2.8	5.7	30	8
Test.Loc.(2)		2.6	5.9	32	8

Cuadro 9. Líneas tropicales blancas y amarillas con buen comportamiento per se y en cruzas.

CML No.	Genealogía
BLANCAS	
247	(P24MH119xP24MH54)-6-4-1-1-BB-f
254	TUX. SEQ. -149-2-BBB-#-1-BB-f
258	POB.21C5HC218-2-3-B-###-B-1-BBB-f
264	POB.21C5HC219-3-1-B-#-8-1-3-BBB-f
270	POB.29STEC1HC17-4-1-1-2-1-BB-f
273	(AC7643x43F7)-2-3 -- -2-1-BB-f
274	(AC7643x43F7)-2-3 -- -4-3-BB-f
AMARILLAS	
287	(24F26x27F1)-4-1-B-1-1-BB-f
CL-00331	SINT. AM. TSR-23-3-2-3-2-BB-##-
298	SINT. AM. TSR.-7-4-2-2-1-BB-f
297	SINT. AM. TSR.-23-3-1-1-1-BB-f
CL-02808	POB.28TSR-33-3-3-B-1-1-BB-##
295	SINT. AM. TSR.-76-2-1-1-1-BB-##

El comportamiento de algunas líneas parentales, incluidas en las mejores combinaciones híbridas

identificadas en los ensayos internacionales de híbridos son listados en los Cuadros 7 y 8. La información que aparece en los cuadros incluye aptitud combinatoria general (ACG), rendimiento *per se*, comportamiento en cruzas, pudrición de mazorca (%) y % de plantas con achaparramiento. En general, la mayoría de las líneas manifiestan ACG positiva con variación de rendimiento de 1.9 a 3.6 t/ha en las líneas blancas y 2.2 a 3.1 t/ha en las líneas amarillas. Las líneas CML seleccionadas tuvieron mejor resistencia a pudrición de mazorca y igual o mejor comportamiento que las líneas testigos endocriadas incluidas en localidades de Centro América. Estas líneas blancas y amarillas proceden de diferentes poblaciones (Cuadro 9).

CONCLUSIONES

1. En 1994, tanto los híbridos blancos como los amarillos registraron una superioridad del 20% sobre la mejor variedad testigo. En la mayoría de los países y localidades, el mejor híbrido de CIMMYT fue superior al mejor híbrido testigo local.
2. Los híbridos amarillos en general presentaron menor rendimiento que los híbridos blancos tanto en 1994 como en 1995.
3. De los híbridos probados en 1994, por lo menos uno o más en cada una de las localidades de Centro América fueron superiores al mejor híbrido testigo local.
4. CML 287 x CL00331 demostró ser el mejor híbrido amarillo en ambos años de prueba.
5. Algunos de los híbridos superiores mostraron mejor resistencia a pudrición de mazorca y achaparramiento que los híbridos testigos locales.
6. Los híbridos con comportamiento superior en 1994 mostraron buena estabilidad sobre un amplio rango de ambientes.

REFERENCIAS

Eberhart, S.A. y W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.

Vasal, S.K., and S. McLean (eds.). 1994. The Lowland Tropical Maize Subprogram. Maize Program Special Report. Mexico, D.F.: CIMMYT.

Avances en el Desarrollo de Líneas como Probadores en Germoplasma Tropical de Maíz

Surinder K. Vasal¹, Félix San Vicente², Scott McLean³, Kumar Ramanujam², Miguel Barandiarán³, Antonio Ramírez⁴ y José G. Avila⁴

RESUMEN

Diversas metodologías y estrategias pueden utilizarse para desarrollar híbridos de maíz. Existen procedimientos convencionales para el desarrollo de híbridos los cuales están siendo usados por mejoradores de maíz en los países en desarrollo. Considerando la gran cantidad de tiempo necesario para desarrollar e identificar híbridos superiores, es importante diseñar alguna estrategia de corto plazo de manera de hacer ésta actividad más simple, eficiente y de menor costo, al reducir fases a un mínimo. Esto puede lograrse mediante la identificación de líneas endocriadas pertenecientes a diferentes patrones heteróticos. En este trabajo se discutirá la necesidad y utilidad de líneas como probadores en un programa de desarrollo de híbridos. Procedimientos para la identificación de tales líneas serán presentados, y se discutirá de manera detallada, la necesidad de usar uno o más probadores del mismo o de diferente germoplasma heterótico. Se discutirán resultados obtenidos en diversos estudios conducidos en el CIMMYT y se presentará información sobre las líneas que han resultado de mayor utilidad como probadores dentro del germoplasma de maíz tropical de CIMMYT, incluyendo materiales de diferentes grupos de madurez y endospermo blanco y amarillo.

Las estrategias para el desarrollo de híbridos, deben evolucionar a través del tiempo para satisfacer la necesidad de identificar y liberar híbridos de maíz superiores. Deben usarse procedimientos innovadores que puedan hacer el esfuerzo dedicado al desarrollo de híbridos más eficiente, mediante la reducción de las etapas de evaluación, así como el período de tiempo necesario para la identificación de híbridos superiores. El procedimiento estándar para el desarrollo de híbridos envuelve pasos definidos que deben seguirse en la evaluación de líneas para habilidad combinatoria general y específica, y en la predicción del

comportamiento en cruza usando datos provenientes de híbridos simples. Este procedimiento requiere de mucho tiempo y recursos económicos.

A medida que un programa de investigación en híbridos evoluciona, deben identificarse líneas probadoras apropiadas que puedan utilizarse para evaluar líneas recientemente desarrolladas. El uso de líneas endocriadas como probadores puede acelerar considerablemente el desarrollo de híbridos, mediante la reducción de fases de evaluación y del período de tiempo necesario para la liberación de un híbrido. La identificación y utilización de líneas probadoras serviría como un punto común en la extrapolación de resultados de habilidad combinatoria entre diferentes mejoradores.

Para abordar el tema de probadores en maíz se necesita considerar varios aspectos, tales como: necesidad de los mismos, tipos de probadores, selección de probadores, procedimientos usados en su identificación, y finalmente la utilización de probadores para mejorar la eficiencia del proceso de desarrollo de híbridos. El presente trabajo discute la evolución de líneas probadoras derivadas de diferentes poblaciones blancas y amarillas del CIMMYT. Esta información es de utilidad no solo para el Programa de híbridos del CIMMYT, sino también para los programas nacionales interesados en el desarrollo de híbridos.

MATERIALES Y METODOS

En 1986, el Programa de Maíz del CIMMYT condujo una serie de experimentos con híbridos generados, utilizando el sistema de cruzamientos dialélicos. A partir de los resultados de estos ensayos, fueron identificadas once líneas como probadores blancos y ocho líneas como probadores amarillos. Estas líneas se originaron de las poblaciones 21, 25, 32 y los pools 23 y 24 en el caso de las líneas blancas, mientras que las líneas amarillas fueron derivadas de las poblaciones 24, 27, 36 y el pool 26. Estos probadores constituyeron el empuje inicial en el esfuerzo dedicado al desarrollo de híbridos, pero

¹ Coordinador Subprograma de Maíz para Trópicos Bajos; ²Post Doctorado, Programa de Maíz; ³Científico Asociado, ⁴Ingeniero Agrónomo, respectivamente, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México.

desafortunadamente tuvieron uso limitado debido a su bajo nivel de endogamia.

Los esfuerzos en la identificación de líneas probadoras superiores han continuado en el subprograma de trópicos bajos. Durante 1993 fueron constituidos cuatro dialélicos de diez líneas cada uno, dos dialélicos involucrando líneas blancas y dos involucrando líneas amarillas. Los 45 híbridos generados en cada dialélico más cuatro testigos, fueron evaluados en las estaciones experimentales del CIMMYT en México, así como en algunas localidades de Centro y Sur América. Además 45 líneas blancas y 45 líneas amarillas fueron cruzadas con tres híbridos simples como probadores. De esta manera tres ensayos de híbridos blancos y tres ensayos de híbridos amarillos, cada uno constituido por 45 híbridos triples más cuatro testigos fueron evaluados en las estaciones experimentales del CIMMYT en México y algunas localidades de Centro y Sur América. Estos ensayos permitieron la identificación no solo de híbridos superiores, sino también de líneas endocriadas que pudieran utilizarse en el futuro como probadores en la investigación en desarrollo de híbridos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los Cuadros 1 y 2 muestran el rendimiento y características agronómicas de algunos de los híbridos superiores, así como la contribución de aptitud combinatoria general (ACG) de cada padre, y los

efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de cada cruce para los ensayos de híbridos simples conducidos en 1993. En el grupo de híbridos blancos seleccionados la ACG así como la ACE, son muy importantes y contribuyen al comportamiento observado en los híbridos. La situación para los híbridos simples amarillos es diferente, en algunos la ACG contribuye substancialmente, mientras que en otros un padre tiene ACG negativa y valores de ACE bastante altos y positivos, resultando en híbridos altamente productivos.

Los valores de ACG y estabilidad de ACG para las líneas superiores identificadas a partir de los ensayos de híbridos simples, son presentados en el Cuadro 3. Varias líneas mostraron ACG estable en diferentes localidades de evaluación.

El Cuadro 4 muestra la estabilidad de ACG para las líneas involucradas en los híbridos triples, evaluados durante 1993. Los números en paréntesis indican el número de localidades donde los valores de ACG resultaron estables. Tal como en los ensayos de híbridos simples, las líneas involucradas en los híbridos triples superiores presentaron buena estabilidad de ACG en diferentes ambientes. Basándonos en resultados de ambos tipos de ensayos, un número de líneas probadoras potenciales han sido identificadas (cuadros 5 y 6). Actualmente el Programa de trópicos bajos utiliza 20 líneas blancas y 15 líneas amarillas, como probadores en el programa de desarrollo de híbridos (Vasal et al., 1994).

Cuadro 1. Cruzas superiores en cuatro ensayos de cruces simples conducidos durante 1993.

Ensayo	Progenitores	CML No.	Media de Ensayo	GCA			Rend. (t/ha)
				P1	P2	SCA	
SCW9301	P1xP10	264 x 271	5.36	0.52	0.13	0.62	6.64
	P1xP9	264 x 273	5.36	0.53	0.44	0.10	6.43
	P9xP10	273 x 271	5.36	0.44	0.13	0.29	6.22
SCW9302	P3xP8	247 x 254	5.48	0.49	0.25	0.81	7.03
	P3xP10	247 x 274	5.48	0.49	0.16	0.19	6.33
SCY9303	P3xP8	299 x Sint. A. 23	4.77	0.59	0.73	0.08	6.17
	P7xP8	287 x Sint. A.23	4.77	0.76	0.73	-0.16	6.10
	P7xP10	287 x 298	4.77	0.76	0.12	0.16	5.81
SCY9304	P1xP3	297 x Sint. A 76-2	4.62	0.78	-0.15	0.84	6.09
	P1xP2	297 x Sint. A. 76-1	4.62	0.78	-0.14	0.79	6.05
	P1xP8	297 x Sint. A. 76-1	4.62	0.78	-0.32	0.53	5.61

Cuadro 2. Comportamiento agronomico de cruza simples en ensayos SCW9301, SCW9203 y SCW9304.

SCc9301													
ENTRADA	MATERIAL	RTO. KG/HA	50% FLOR F.	ALTURA PLTA. cm	% ACAME RAIZ	% PODRIDAS	ASPECT. MAZ.	% MALA COB.	% PLTAS c VIRUS	% HUMEDAD			
9	P1 x P10	6786.0	60.1	224.9	5.6	7.3	2.6	8.7	10.0	22.0			
45	P9 x P10	6728.4	59.5	232.1	1.9	10.7	3.0	29.3	8.7	20.5			
8	P1 x P9	6575.0	60.9	216.1	4.9	7.7	2.5	9.8	12.2	21.7			
36	P6 x P7	6503.5	61.6	229.9	11.1	3.3	2.2	0.5	10.9	22.1			
6	P1 x P7	6482.5	61.8	212.1	3.6	5.8	2.6	0.2	13.3	21.7			
3	P1 x P4	6438.8	61.2	214.8	8.2	5.1	2.6	4.5	25.4	21.6			
SCc9302													
ENTRADA	MATERIAL	RTO. KG/HA	50% FLOR F.	ALTURA PLTA. cm	% ACAME RAIZ	% PODRIDAS	ASPECT. MAZ.	% MALA COB.	% PLTAS c VIRUS	% HUMEDAD			
22	P3 x P8	7124.5	60.8	207.2	4.6	3.7	1.9	1.2	8.5	24.0			
44	P8 x P10	6686.7	62.5	230.9	3.3	7.8	2.6	0.8	19.8	21.6			
27	P4 x P7	6675.3	62.3	232.7	9.9	7.3	2.5	0.5	23.0	21.7			
39	P6 x P10	6667.0	62.0	222.2	6.1	3.9	2.3	0.8	13.5	20.9			
24	P3 x P10	6629.3	61.0	218.5	11.4	6.7	2.5	17.7	9.4	21.9			
38	P6 x P9	6613.2	60.9	228.9	10	8.0	2.5	1.8	22.0	23.6			
P1 = POB.21C5HC219-3-1-B-##-8-1-3-BBB-## P2 = POB.43STEC1HC26-2-2-1-2-3-BB-## P3 = (P24MH119 x 54)-6-4-1-1-BB-## P4 = POB.21C5HC218-2-3-B-F-6-BBB-## P5 = L. DIAMANTES 8043-53-1-1-B-##-1-BB-## P6 = (POB.21HC114 x 38)-5-3-2-1-BB-## P7 = POB.21C6S1MH125-3-B-1-1-2-BB-## P8 = TUXP.SEQUIA-149-2-BBB-##-1-BBB-## P9 = POB.22TSR-4-3-1-3-1-BB-## P10 = POB.29STEC1HC25-6-4-1-#-BBB-## scc9301													
SCY903													
ENTRADA	MATERIAL	RTO. KG/HA	50% FLOR F.	ALTURA PLTA. cm	% ACAME RAIZ	% PODRIDAS	ASPECT. MAZ.	% MALA COB.	% PLTAS c VIRUS	% HUMEDAD			
40	P7 x P8	6016.5	60.3	232.3	9.9	3.5	2.1	5.1	13.5	22.7			
22	P3 x P8	5864.1	57.8	219.2	19.9	1.6	2.3	5.2	12.0	21.4			
42	P7 x P10	5827.3	58.9	221.1	14.3	8.5	2.6	7.6	27.7	22.1			
27	P4 x P7	5694.8	60.1	240.0	20.9	7.5	2.6	8.0	19.8	21.5			
21	P3 x P7	5468.3	56.8	228.4	27.4	5.3	2.5	3.5	29.5	20.5			
32	P5 x P7	5443.9	59.6	235.6	14.5	8.6	2.8	8.4	22.0	21.4			
SCY9304													
ENTRADA	MATERIAL	RTO. KG/HA	50% FLOR F.	ALTURA PLTA. cm	% ACAME RAIZ	% PODRIDAS	ASPECT. MAZ.	% MALA COB.	% PLTAS c VIRUS	% HUMEDAD			
2	P1 x P3	5924.4	58.7	238.7	7.6	3.5	2.0	3.4	26.1	23.0			
1	P1 x P2	5883.8	58.0	233.8	12.3	3.1	2.0	3.4	26.1	21.9			
20	P3 x P6	5723.1	54.1	219.2	27.3	3.2	2.2	2.2	39.3	19.4			
13	P2 x P6	5541.3	54.0	209.3	5.5	2.7	2.4	2.4	34.1	18.6			
7	P1 x P8	5435.9	58.9	226.4	7.6	3.5	2.4	4.2	41.9	21.9			
5	P1 x P6	5093.2	59.0	236.3	13.2	4.9	2.5	2.9	22.6	20.6			
P1 = SINT.AM.TSR-76-1-2-2-BB-## P2 = (POB.28TSR)-33-3-3-B-1-1-BB-## P3 = POB.24STEC1HC16-1-3-3-1-2-BB-## P4 = (POB.24 x POB.27)-4-1-B-1-1-BB-## P5 = SINT.AM.TSR-23-3-2-3-2-BB-## P6 = (POOL22 x POOL22)-2-2-3-1-BB-## P7 = SINT.AM.TSR-76-2-1-1-1-BB-## P8 = SINT.AM.TSR-76-2-1-3-4-BB-## scc9304													

Cuadro 3. Líneas con buena habilidad combinatoria en ensayos de cruza simples de maíz blanco.

Ensayo No.	Genealogía	CML No.	ACG	Estabilidad ACG
SCW-9301	P1-Pob. 21 C5 HC219-3-1-B-##-B-1-3-BB-##	CML-264	0.58	L1,L3,L4,L5
	P9-(Ac.7643xPob. 43)-2-3-2-1-BB-##	CML-273	0.43	L1, L2, L3,L4, L5
	P7-(Pob.21 C5 HC218-2-3-B-###-B-1-BBB-##	CML-258	0.23	L1, L2, L3,L4, L5
	P6-L. Diam. 8043-53-1-1-B-##-01-BB-##	CML-278	0.11	L3, L4, L5
	P10-Pb. 29 STE C1 HC25-6-4-1-#-BBB-##	CML-271	0.12	L2, L3, L4, L5
SCW9302	P3-(P24 MH119*54)-6-4-1-1-BB-##	CML-247	0.46	L1, L2, L3,L4,L5
	P8-TS149-2-BBB-##-1-BBB-##	CML-254	4.23	L1, L2, L3,L4,L5
	P10-(AC.7643xPob. 43)-2-3-4-3-BB-##	CML-274	0.18	L1, L3, L4
	P7-Pob. 21 C6 S1 MH-125-3-B-1-1-2-BB-f-##	CML-255	0.22	L2, L3, L4
	P9-Pob. 22 TSR-4-3-1-3-1-BB-#3	CML-267	0.22	L1, L4, L5
SCY-9303		CML-287	0.79	L1, L2, L3, L4, L5
	P8-SA TSR-23-3-2-3-2-BB-##		0.62	L1, L2, L3, L4, L5
	P3-SA TSR-76-1-2-2-2-BB-##	CML-299	0.48	L1, L2, L3, L4, L5
	P6-Pob. 24 C5 HC34-2-3-B-f-2#-BBB-##	CML-285	0.2	L1, L3
	P10-SA TSR-7-4-2-2-1-BB-##	CML-298	0.21	L2, L3, L4
SCY-9304	P1-SA TSR-23-3-1-1-1-BB-##	CML-297	0.66	L1, L2, L3, L4, L5
	P6-(Pool 22 x Pool 22)-2-2-3-1-BB-##	CML-282	0.55	L1, L2, L3, L4, L5

Cuadro 4. Líneas con buena habilidad combinatoria en ensayos de línea x probador, 1993.

Tipo de Ensayo	No.	Genealogía	CML No.	ACG	ACG estabilidad●
Triples Blancos	TWCW-9305	P6-Pob. 21 C6S1MH177-2-B-4-3-1-BB-##	261	0.3	5(6)
		L14-TS-149-2-BB-##-1-BB-##	254	0.28	5(6)
		L2-Pob. 21 C6 S1 MH125-3-B-1-1-2-BB-##	255	0.16	4(6)
Triples Blancos	TWCW-9306	L11-Pob. 223 TSR-4-3-1-3-1-BB-##	267	0.62	4(5)
		L12-Pob.23 STE C1 HC45-1-1-1-2-3-BB-##	269	0.48	4(5)
		L5-(Pob. 21x21)-2-1-2-1-BB-##	263	0.43	4(5)
Triples Blancos	TWCW-9307	L12-Ferke 8243-51-1-1-B-##-1-BB-##	277	0.58	5(5)**
		L9-(AC.43x22)-2-3-4-3-BB-##	274	0.37	4(5)
		L6-Pob. 29 STE C1 HC17-4-1-1-2-1-BB-#	270	0.16	3(5)
Triples Amarillos	TWCY-9308	L3-Pob. 24 STE C1 HC21-3-1-1-#-BBB-##	-	0.58	4(4)
		L14-Pob. 28 TSR-33-3-3-B-1-1-BB-##	-	0.29	3(4)
		L9-(P22xPob. 26)-2-2-2-1-BB-##	283	0.3	3(4)
Triples Amarillos	TWCY-9309	L11-SATSR-23-3-1-1-1-BB-####	297	0.81	3(4)
		L10-SATSR-23-2-2-1-3-BB-####	305	0.49	3(4)
		L4-SATSR-7-3-1-1-1-BB-##	-	0.42	3(4)
Triples Amarillos	TWCY-9310	L12-SATSR-76-2-1-3-2-BB-####	-	0.2	3(4)
		L3-SATSR-76-1-1-1-1-BB-##	-	0.21	3(4)
		L2-SATSR-61-3-2-B-1-2-BB-####	-	0.07	3(4)

* CML = Línea de maíz de CIMMYT; ** Tolerante a sequía.

● El número que está fuera del paréntesis indica el número de localidades donde el comportamiento de la línea fue estable; el número en el paréntesis indica el número de localidades

Cuadro 5. Líneas blancas como probadores.

No.	Línea No.	Población	Genealogía
1	CML-258	21	Pob.21 HC218-2-3-B-###-B-1-BBB-f
2	CML-264	21	Pob.21 HC219-3-1-B-##-8-1-3-BBB-##
3	CML-255	21	Pob.21 C6S1MH125-3-B-1-1-2-BB-f
4	CML-261	21	Pob. 21C6S1MH177-2-B-4-2-1-BB-f
5	CML-263	21	Pob.21 (F241 x F219)-2-1-2-1-BB-f
6	CML-254	21	TUXSEQ-149-2-BBB-##-1-BBB-f
7	CML-266	22	Pob.22STEC1HC32-6-1-1-2-3-BB-f
8	CML-268	23	Pob.23STEC1HC45-1-1-1-2-3-BB-f
9		25	Pob.25HC13
10	CML-270	29	Pob. 29STEC1HC17-4-1-1-2-1-BB-f
11	CML-271	29	Pob. 9 STEC1HC25-6-4-1-#-BBB-f
12	CML- 36	32	Pob. 32HC20-3-4-B-#-B
13	CML-273	43	(Ac.7643xPob. 43F7)-2-3-2-1-BB-##
14	CML-274	43	(AC.7643xPob. 43F7)-2-3-4-3-BB-##
15	CML-277	43	Ferke 8243-51-1-1-B-##-1-BB-##
16	CML-247	Pool 24	(Pool24-F119 x Pool 24-F54)-6-4-1-1-BB-ff
17	CML-249	Pool 24	(Pool24-TSR19 x POB.21-F163)-1-4-1-2-BB-
18	CML- 48	73	Porrillo 8073-11-1-1-##
19	CML- 49	73	Sta. Rosa 8073-6-1-1-###
20	---	Sint. Blanco TSR	Sint.Bco.-7-3-1-2-3-BB-f-##

Cuadro 6. Líneas tropicales amarillas probadoras.

No.	Código CIMMYT	CML	Genealogía	Origen
1	CL02405	CML285	P24C5HC34-2-3-B-f-2#-BBB-f	PR93B-5418-9
2			P24STEC1HC21-3-1-1-1-BBB-f-#	PR93B-5418-38
3	CL2407	CML287	(P24F26*27F1)-4-1-B-1-1-BB-F	PR93B-5418-5
4	CL2403	CML 20	P24HC34-2-3-B-###	PR93B-5419-27
5	CL2403	CML 29	P27HC71-3-1-B-f-B	PR93B-5419-29
6			P28TSR-33-3-3-B-1-1-BB-f-##	PR93B-5418-33
7	CL-03601	CML 40	P36C5HC144-2-2-B-###	PR93B-5419-40
8			P36C5HC279-1-1-B-##	PR93B-5434-46
9	CL-07902	CML 52	Sta. Rosa8079-22-2-2-##	PR93B-5419-52
10	CL-P2201	CML 28	(P22F128xP22F25)-2-2-3-1-BB-f	PR93B-5418-7
11	CL-P2202	CML283	(P22SR7Xp26F37)-2-2-2-1-BB-f	PR93B-5418-37
12			Sint.Am.TSR-7-3-1-1-1-1-BB-f-#	PR93B-5418-40
13			Sint.Am.TSR-23-3-1-1-1-1-BB-f-#	PR93B-5418-41
14			Sint.Am.TSR-61-3-2-B-1-2-BB-f-#	PR93B-5418-50
15			Sint.Am.TSR-76--2-1-3-2-BB-f-#	PR93B-5418-23

Estas líneas fueron estudiadas intensivamente durante 1995, con el objeto de tomar decisiones más concretas y concluyentes acerca de cual o cuales de ellas podrían utilizarse como probadores para los diversos grupos heteróticos manejados por el Programa de maíz del CIMMYT. Estas investigaciones también permitirán decidir si solo un probador, preferentemente no parental, ya sea un híbrido simple o una línea endocriada podría utilizarse para discriminar líneas respecto a su habilidad combinatoria.

CONCLUSIONES

1. Once líneas blancas y ocho líneas amarillas con niveles de endogamia no superiores a S3, fueron identificadas como probadores en 1987.

2. Ensayos de híbridos simples y triples conducidos recientemente, han permitido identificar nuevas líneas probadoras con más elevado nivel de endogamia. Veinte líneas blancas y quince líneas amarillas se encuentran actualmente bajo estudios intensivos.

3. De acuerdo a los resultados obtenidos en los experimentos efectuados en 1993, el Programa de trópicos bajos está utilizando dos líneas blancas (CML-247 y CML-254), así como dos líneas amarillas (CML-287 y CL-00331) como probadores.

REFERENCIAS

Vasal, S. K., S.D. McLean, F. M. San Vicente, and S.K. Ramanujam. 1994. Annual Progress Report Lowland Tropical Maize Subprogram. Mexico, D.F.: CIMMYT.

Necesidad y Beneficios de Lotes de Evaluación de Líneas para diversos propósitos en el Mejoramiento Genético del Maíz

Surinder K. Vasal¹, Félix San Vicente², Scott McLean³, Kumar Ramanujam², Miguel Barandiarán³, Antonio Ramírez⁴, José G. Avila⁴

RESUMEN

En un programa orientado al desarrollo de híbridos, la identificación de buenos progenitores es igualmente importante a la creación de híbridos superiores. Es necesario enfatizar no sólo la habilidad combinatoria de las líneas, tal como sucede actualmente, sino también el comportamiento de líneas endocriadas *per se*. A medida que la tecnología evoluciona de híbridos multiparentales hacia híbridos biparentales, el comportamiento de las líneas endocriadas, especialmente su capacidad para producir buena cantidad y calidad de semilla, se convierte en un factor clave para la promoción de híbridos simples. El presente artículo discute la necesidad de utilizar lotes de evaluación de líneas para diversos atributos, que podrían ser parte de los programas de mejoramiento poblacional o parte integral del proceso de desarrollo de líneas. El Programa de Maíz de Trópicos Bajos del CIMMYT, ha enfatizado la evaluación de líneas superiores para diversas características como tolerancia a sequía, resistencia a insectos, tolerancia a suelos ácidos, resistencia a virus y resistencia a mildiu vellosa. El comportamiento agronómico de las líneas también ha sido estudiado en ensayos de rendimiento en localidades múltiples, incluyendo algunos ambientes en Centro América para observar su estabilidad de rendimiento e identificar aquellas a ser utilizadas en el programa de reciclaje de líneas. Los resultados de diferentes viveros de evaluación de líneas endocriadas que aquí se presentan, han conducido a la identificación de líneas útiles para varias de las características antes mencionadas. A través de esta estrategia, también se han identificado líneas altamente productoras, que pueden utilizarse como progenitores hembra en la formación de híbridos simples.

El desarrollo de híbridos de maíz ha evolucionado a través de los años. En los países desarrollados la mayoría del hectareaje de maíz es sembrado con híbridos simples, mientras que en los países subdesarrollados una amplia variedad de tipos de

híbridos desde convencionales hasta no convencionales es sembrada en diferentes países (Pandey y Gardner, 1992). A medida que mejores líneas endocriadas son desarrolladas, la tendencia será ha producir híbridos de maíz convencionales tales como híbridos dobles, triples e híbridos simples. En todos los híbridos convencionales de maíz, las líneas endocriadas están involucradas como padres.

La mayoría de los programas públicos de maíz alrededor del mundo, así como del sector privado dedican gran esfuerzo a la evaluación de combinaciones híbridas, pero poca atención es prestada a la evaluación de líneas parentales. En el subprograma de maíz para trópicos bajos de CIMMYT, se ha puesto énfasis en la evaluación de líneas de diferente madurez en ensayos de evaluación. Esto ha servido para muchos propósitos, como determinación del comportamiento de líneas a través de diferentes ambientes con respecto a rendimiento y otras características agronómicas, reacción a diferentes enfermedades foliares y a patógenos causantes de pudrición de mazorca (Vasal et al., 1994).

La evaluación de líneas respecto a diferentes características ayuda en la identificación de fuentes de resistencia para estreses bióticos y abióticos, y en algunas instancias en la identificación de germoplasma con caracteres raros, los cuales son muy difíciles de encontrar en poblaciones de polinización abierta.

Un programa fuerte y agresivo de desarrollo de líneas, puede integrar actividades de otras disciplinas y permitir la evaluación de técnicas y procedimientos los cuales, son difíciles de probar confiablemente a nivel de Poblaciones o variedades. Los ensayos de evaluación de líneas *per-se* combinados con datos de comportamiento en cruza facilitan la identificación de líneas para reciclaje dentro de un grupo heterótico particular.

Finalmente, los ensayos de evaluación de líneas sirven como vehículos para la diseminación de germoplasma endocriado a los programas nacionales cooperadores. Los beneficios que se han observado en CIMMYT, especialmente en el subprograma de maíz

¹ Coordinador Subprograma de Maíz para Trópicos Bajos; ² Post Doctorado, Programa de Maíz; ³ Científico Asociado, ⁴ Ingeniero Agrónomo, respectivamente, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México.

para trópicos bajos son casi ilimitados como se hará evidente con los resultados que se presentarán en este reporte. La fijación de alelos durante el proceso de endogamia es al azar, pero las líneas que sobreviven al mismo pueden expresar caracteres para los cuales no se ejerció ninguna presión de selección. Los resultados de los diferentes estudios presentados en este trabajo reforzarán nuestra confianza para continuar conduciendo este tipo de experimentos rutinariamente.

MATERIALES Y MÉTODOS.

A través de los años, el subprograma de maíz de trópicos bajos del CIMMYT ha desarrollado una serie de líneas endocriadas que presentan buena habilidad combinatoria y buen comportamiento en cruza. Ha sido la política de CIMMYT anunciar periódicamente líneas, de manera de acelerar el desarrollo de híbridos de maíz en los países en vías de desarrollo. Un total de 58 líneas fueron anunciadas en 1991, seguido por otras 62 en 1994. Además algunas líneas tropicales han sido anunciadas por el programa regional de Sur América en Colombia, y el programa regional de Sur Africa en Zimbabwe. El programa también evalúa continuamente líneas prometedoras en ensayos de evaluación *per-se*. Así como en combinaciones híbridas. En este trabajo discutiremos los resultados de la evaluación de líneas CML'S y otras líneas prometedoras en ensayos replicados, así como evaluaciones para algunos estreses bióticos y abióticos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento y comportamiento agronómico de líneas endocriadas ha sido evaluado en ensayos en múltiples localidades desde 1992, sin embargo solo se presentan resultados del 1994, para indicar el comportamiento *per se* de líneas de diferentes orígenes. El rendimiento de las líneas blancas y amarillas en diferentes años es indicado en los Cuadros 1 al 4.

El Cuadro 1 detalla el comportamiento de líneas blancas provenientes de diversas poblaciones. Debe notarse, que algunas de estas líneas rindieron entre 3-4 t/ha. Para altura de planta, las líneas mostraron gran variación, con la mayoría de las líneas de menor altura originándose de la población 49, las líneas derivadas de la Población 43 fueron generalmente altas. Los resultados para las líneas amarillas pueden encontrarse en el Cuadro 2. El comportamiento de las líneas amarillas fue muy promisorio con rendimientos comprendidos entre 2.8-4.1 t/ha. El Cuadro 3 muestra

el rendimiento promedio de las mejores líneas amarillas en Guatemala, Panamá y República Dominicana. En general, podemos notar que las líneas de CIMMYT superaron a los testigos locales, con algunas de las mejores líneas rindiendo entre 4.3-5.2 t/ha.

El rendimiento de las líneas blancas en cinco localidades en Centro América se presenta en el Cuadro 4. La localidad San Jerónimo en Guatemala, resultó con los rendimientos mas altos. En promedio en los países centroamericanos, las mejores 2 líneas corresponden a la Población 73. Otras líneas superiores fueron originadas de las Poblaciones 21, 43, 32 y del pool 24. Aunque no se presentan los datos, algunas de las líneas de CIMMYT mostraron poca pudrición de mazorca y baja incidencia de achaparramiento.

Cuadro 1. Medias de rendimiento de grano y otros caracteres de líneas endogámicas blancas derivadas de diferentes poblaciones.

Material	No. de líneas	Rend. (T/ha)	Flor. Fem. Días	Alt. Plt. (cm)	Hum. (%)
Población 21	24	2.5	63	161	28.2
Población 22	3	2.2	65	156	32.0
Población 23	2	2.0	66	175	29.5
Población 25	2	2.2	61	164	24.5
Población 29	2	2.1	63	145	30.0
Población 32	1	2.9	62	177	29.0
Población 43	20	2.7	62	169	27.2
Población 49	1	2.6	60	129	26.0
Población 73	1	4.0	63	184	25.0
Pool 24	4	2.4	64	142	30.5
Sint. Bco. TSR	1	2.6	64	149	35.0

Cuadro 2. Medias de rendimiento de grano y otros caracteres de líneas endogámicas amarillas derivadas de diferentes poblaciones.

Material	No. de líneas	Rend. (T/ha)	Flor. Fem. Días	Alt. Plt. (cm)	Hum. (%)
Población 24	12	3.3	60	157	23.0
Población 27	5	3.8	62	171	23.8
Población 36	5	4.1	59	175	21.6
Población 79	1	3.6	62	168	25.0
Pob. 28 TSR	8	3.1	63	158	22.3
Pool 22	3	2.8	60	145	21.7
Sint. Amar. TSR	30	3.4	61	162	24.0

Cuadro 3. Rendimiento promedio de grano amarillo de las 10 mejores líneas de maíz amarillo (LETY 9405)

Ent.	Pedigree	Rendimiento Promedio (kg/ha)						
		Guatemala		Panamá		Rep. Dom.	Across	
12	POB.36C5HC144-2-2-B-ff-##	5698.5	(1)*	3536.5	(3)	6424.1	(3)	5219.7
62	POB.27C5HC15-S4-F3-###	4178.3	(5)	3001.9	(5)	6461.4	(1)	4547.2
3	POB.24C5-HC34-2-3-B-ff-##	4239.8	(4)	2772.2	(8)	6435.0	(2)	4482.4
44	POB.24C5HC219-1-1-B-f-#	4515.7	(3)	2765.9	(9)	6073.7	(4)	4451.8
9	POB.27C5HC117-1-4-B-ff-##	4826.8	(2)	2801.9	(7)	5235.1	(6)	4287.9
5	POB.27C5HC1-1-3-B-ff-##	4176.0	(6)	2890.8	(6)	3265.0		3443.9
42	Sint.Am.TSR-93-2-2-2-BB-f-##	3950.0	(7)	2609.1	(12)	3726.1		3428.4
78	POB.36C5HC144(S3FRIP)-####-B	3322.4	(13)	2210.5		4470.7	(9)	3334.5
8	POB.27C5HC71-3-1-1-1-BB-ff-##	3132.5		2174.4		4580.8	(8)	3295.9
99	(POB.24XPOB.27)-4-1-B-1-1-BBB-2-B-##-BB	3774.0		2347.1		3588.0		3236.4
120	Testigo Local # 1	798.1	(120)	4797.9	(1)	2905.1	(60)	2827.7
121	Testigo Local # 2	2386.8	(64)	4138.8	(2)	1328.9	(109)	2618.2
	Promedio	2485.1		1980.0		2912.1		2459.1
	C.V.	23.1		15.8		31.5		25.5
	LSD 5%	918.3		506.1		1468.1		601.3

Cuadro 4. Rendimiento de las líneas blancas en cinco localidades en Centro América , LETW 9404.

Ent.	Pedigree	Rendimiento Promedio (kg/ha)					
		San Jerónimo Guatemala	Omonita Honduras	San Andrés El Salvador	Cañas C.Rica	Managua Nicaragua	Across
21	STA.ROSA.8073-6-1-1-ff-#	5203.7	4563.1	5327.1	2940.3	3447.7	4296.4
20	PORRILLO.8073-11-1-1-##-B-f-###	6317.0	1785.0	5155.8	2968.0	3020.2	3849.2
9	POB.21C5HC241-1-2-2-4-ff-#	5494.7	2895.0	4497.5	3552.2	2073.4	3702.6
55	(AC7643*43F7)-2-3-2-1-BB-f-##	5569.9	2676.2	3356.7	3740.4	2642.8	3597.2
17	AC7843-16-1-2-B-1-B-f-####	5532.4	2611.0	3714.4	2557.7	3294.4	3542.0
24	P24TSR-29-B-ff-##	6632.9	3153.3	3734.6	2969.0	895.2	3477.0
8	POB.21C5HC219-3-1-ff-##	4645.0	3301.5	2807.7	3369.4	2037.8	3232.3
16	POB.32C4HC142-1-1-B-ff-#	5804.0	2150.5	3815.6	2549.7	1509.4	3165.8
32	POB.21C6S1MH154-5-B-1-1-1-BB-f-##	5776.2	2351.2	3352.0	2991.4	1315.4	3157.2
56	(AC7643*43F7)-2-3-4-3-BB-f-##	4365.4	2101.3	3570.7	3168.8	2227.7	3086.8
90	POB.32C4HC128-1-1-B-f-##	4715.2	2688.5	3643.9	3160.6	1164.6	3074.5
37	(21F114*21F38)-5-3-2-1-BB-f-##	5305.1	3849.1	2961.8	1673.6	1552.9	3068.5
114	P24 (S58*132)-6-3-2-2-B-#	5615.7	2405.6	3329.1	1813.0	1900.0	3012.7
7	POB.21C5HC218-2-3-B-ff-##	5631.1	2423.6	3134.0	2823.1	961.8	2994.7
25	(P24F119*P24F54)-6-4-1-1-BB-f-##	4263.4	2900.8	3199.0	2501.0	1917.0	2956.2
3	POB.21C5HC84-2-1-B-3-f-####	5171.6	2273.2	3198.9	2624.7	1003.8	2854.4
73	POB.21STEC1HC43-4-1-3-1-3-BBB-2-##-BB	4800.2	2573.0	3210.4	1838.2	1411.9	2766.8
1	POB.21C5HC57-1-2-B-ff-#	5967.1	2037.8	2181.3	2723.4	784.9	2738.9
118	TUXP.SEQ.171-1-2-BBB-#	4179.6	2186.6	3422.8	2424.2	1410.5	2724.7
74	POB.21(MRRS)C1-321-1-BBBB-##-B	3790.3	2589.3	2807.5	2776.8	1438.1	2680.4

Cuadro 5. Comportamiento de líneas endogámicas evaluadas en condiciones de estrés hídrico en Tlaltizapán, México durante 1993A.

Ent.	Genealogía	Rend. (t/ha)	ASI días	Maz/pta.	Alt. Pta.	Asp. Maz*
75	SAT-93-2-2-2-2-BB-#*5	3.91	0.5	1.1	139	1.8
14	(21F114*21F38)-5-3-2-1-BB-#*5	3.52	1.5	1.0	149	1.3
28	POB.21 C6 S1 MH247-4-B-1-1-1-BB-#*5	2.60	0.5	1.3	129	2.3
20	(AC7643*P43F7)-2-3-2-1-BB-#*5	2.26	2.0	1.0	104	2.8
46	POB.49 STE C1HC10-2-1-1-2-2-BB-#*5	2.25	-1.0	0.9	105	2.0
56	(P22F128*P22F25)-2-2-2-2-BB-##*5	2.06	2.0	0.9	123	2.3
54	POB.24 STE C1HC45-1-2-3-4-4-BB-#*5	2.00	2.0	1.0	125	2.8
34	Ferke 8243-58-#-1-BB-#*5	1.95	1.5	0.8	132	2.5
48	POB.21 C6S1MH125-3-B-1-1-1-BB-#*5	1.94	3.0	1.0	103	2.3
22	POB.29 STE C1HC25-6-4-1-#-BB-#*5	1.93	0.5	1.0	108	2.5
60	SAT-74-2-2-1-BB-#*5	1.72	6.0	1.0	106	2.8
30	TS-21-1-2-1-B-##-2-BB-#*5	1.71	0.0	1.0	132	2.8
41	TS-149-2-BBB-##-2-BB-#*5	1.53	1.0	1.0	127	2.8
63	SAT-19-1-2-3-1-BB-#*5	1.51	1.5	0.9	114	3.0

*Escala de calificación 1 a 5; donde 1 es bueno y 5 es malo

Cuadro 6. Líneas prometedoras blancas y amarillas resistentes a Spodoptera y Diatrea 1995B.

LINEAS BLANCAS									
SPODOPTERA					SACCHARALIS				
Entrada No.	Pedigree	Media Calif.	Media Asp. Maz	Entrada No.	Pedigree	Media Calif.	Media Asp. Maz	Entrada No.	Media Asp. Maz
47	POB21C5HC218-2-3-B-##-6-2-1-BBBB-4-####-B-#	3.6	2.8	30	POB21C6S1MH177-2-B-4-2-2-BB-f-##-#	4.0	2.3		
46	POB21C5HC218-2-3-B-##-6-2-1-BBBB-1-####-B-#	4.1	3.0	41	POB21C6S1MH247-5-B-1-1-2-BBB-4-####-B-#	4.3	2.5		
110	FERKE8243-51-1-1-B-##-3-BBB-1-##-BBB-#	4.1	3.0	46	POB21C5HC218-2-3-B-##-6-2-1-BBBB-1-####-B-#	4.3	3.0		
214	CML262 POB21C6S1MH254-2-B-1-4-4-BB-f-##-B-B	4.2	3.3	5	POB21C6S1MH134-1-B-1-3-1-BBB-2-##-BBB-#	4.5	3.5		
23	POB21C5HC84-F3-#-5-B*7-#	4.4	2.8*	47	POB21C5HC218-2-3-B-##-6-2-1-BBBB-4-####-B-#	4.6	2.3		
41	POB21C6S1MH247-5-B-1-1-2-BBB-4-####-B-#	4.4	3.0	23	POB21C5HC84-F3-#-5-B*7-#	4.9	2.8		
212	CML257 POB21C6S1MH154-5-B-1-1-1-BB-f-##-B-B	4.4	2.8	33	CML262 POB21C6S1MH177-2-B-4-3-1-BB-f-##-#	5.0	2.8		
5	POB21C6S1MH134-1-B-1-3-1-BBB-2-##-BBB-#	4.5	3.0*	110	FERKE8243-51-1-1-B-##-3-BBB-1-##-BBB-#	5.0	3.0		
30	POB21C6S1MH177-2-B-4-2-2-BB-f-##-#	4.5	3.0	212	CML257 POB21C6S1MH154-5-B-1-1-1-BB-f-##-B-B	5.0	2.8		
33	CML262 POB21C6S1MH177-2-B-4-3-1-BB-f-##-#	4.5	3.0	214	CML262 POB21C6S1MH254-2-B-1-4-4-BB-f-##-B-B	5.0	2.5		
215	CML67 RESISTANT CHECK	4.0	3.5	215	CML67 RESISTANT CHECK	4.1	3.5		
216	CML131 SUCEPTIBLE CHECK	6.4	3.5	216	CML131 SUCEPTIBLE CHECK	6.8	3.5		
LINEAS AMARILLAS									
SPODOPTERA					SACCHARALIS				
Entrada No.	Pedigree	Media Calif.	Media Asp. Maz	Entrada No.	Pedigree	Media Calif.	Media Asp. Maz	Entrada No.	Media Asp. Maz
139	POB.28TSR(S2)-3-1-2-2-B-###-B-5-B	4.0	3.3	17	(POB24STE-5*24STE-17)-BBBB-###-B-#	4.0	2.0		
138	POB.28TSR(S2)-3-1-1-3-1-###-B-7-B	4.1	3.0	140	(24STE-5*24STE-17)-BBBB-###-B-2-B	4.1	2.5		
140	(24STE-5*24STE-17)-BBBB-###-B-2-B	4.3	2.5	138	POB.28TSR(S2)-3-1-1-3-1-###-B-7-B	4.6	3.0		
60	POB28TSR(S2)-3-1-1-3-1-###-BB-f-B-#	4.6	3.0	139	POB.28TSR(S2)-3-1-2-2-B-###-B-5-B	4.6	2.8		
61	POB36(STE)C2-5-B-B-B-B-B-#	4.9	2.5	60	POB28TSR(S2)-3-1-1-3-1-###-BB-f-B-#	4.9	2.5		
17	(POB24STE-5*24STE-17)-BBBB-###-B-#	5.0	2.5*	61	POB36(STE)C2-5-B-B-B-B-B-#	5.0	3.0		
143	CML67 RESISTANT CHECK	3.8	3.8	143	CML67 RESISTANT CHECK	3.4	3.0		
144	CML131 SUCEPTIBLE CHECK	7.0	3.5	144	CML131 SUCEPTIBLE CHECK	6.6	3.8		
	* RATED ON A SCALE OF 1-9								
	1-RESISTANT ; 9-SUSCEPTIBLE								

El subprograma de maíz para trópicos bajos, también ha evaluado líneas para tolerancia a sequía en la estación de Tlaltizapán durante la época seca (Cuadro 5). A pesar del hecho, que estas líneas nunca fueron seleccionadas para tolerancia a sequía, algunas de ellas respondieron favorablemente bajo condiciones de estrés hídrico. Algunas de las mejores líneas rindieron entre 2-4 t/ha, con ASI no mayor de dos días. En la mayoría de los casos las líneas produjeron una mazorca por planta y presentaron buen aspecto de mazorca. En general, la altura de las plantas disminuyó pero algunas líneas mostraron buena altura de planta bajo condiciones de estrés. Las líneas de CIMMYT también han sido sometidas a infestación artificial con *Spodoptera frugiperda* y *Diatrea saccharalis*, las líneas con mejor reacción a ambos insectos son listadas en el Cuadro 6. Algunas líneas CML'S y prometedoras tuvieron un nivel de daño similar al testigo resistente.

La reacción de las líneas CML's al patógeno causante de la cenicilla del maíz es presentado en el cuadro 7. La línea CML-50 fue obviamente notable por su resistencia (0% de infestación), las líneas CML-32, CML-307 también tuvieron baja incidencia (11.1 y 17.3 % respectivamente), otras líneas tales como CML-22, CML-47, CML-52 CML-269, CML-286 y CML-287 fueron moderadamente resistentes con posibilidades de mejorar su reacción mediante selección.

Los Cuadros 8 y 9 muestran líneas resistentes a *Fusarium moniliforme*, algunas líneas mostraron calificaciones muy bajas para este patógeno causante de pudrición de la mazorca. La mayoría de estas líneas fueron derivadas de las poblaciones 21, 25, 43, 24, 27, 28, 36 y sintético amarillo TSR.

Cuadro 7. Líneas CML's tolerantes/resistentes a la cenicilla del maíz (Mildió veloso)

CML No.	Infección(%)
CML 50	0.0
CML 32	11.1
CML 307	17.3
CML 286	31.3
CML 47	31.9
CML 22	33.6
CML 287	35.0
CML 269	35.2
CML 52	39.2

Cuadro 8. Líneas blancas resistentes a F.moniliforme

Genealogía	Calificación
POB.21STEC1HC27-1-6-1-1-4-BBB-1-##-BB	1.0
(21TSR*21F219)-4-BBB-4-###-B	1.3
P24C20MH94-1-4-B-1-3-1-1-B-f-###	1.3
(P24*POB21)-1-1-B-2-2-BBB-1-B-#-BBB	1.5
AC8222-6-2-2-B-##-1-BBB-1-#-B-##-B	1.5
POB.21C5HC218-2-3-B-##-6-2-1-B*4-5-##-BBB	1.5
POB.21C5HC219-3-1-B-##-8-1-3-BBB-f-##	1.5
POB.21C5HC241-1-2-2-4-ff-#	1.5
POB.22(STE)C2-11-BBBBBBBB	1.5
POB.25COHC31-1-2-1-3-1-B-ff-#	1.5
POB.25STEC1HC13-6-1-1-#-BBB-f-##	1.5
POB.32(MRRS)C1-758-2-BBBBBBBB	1.5
POB.32C4HC20-3-4-B-ff-#	1.5
POB.43STEC1HC10-2-1-1-1-3-BBB-3-##-BBB	1.5
POB.43STEC1HC25-4-1-1-1-3-BB-f-##	1.5
POB.43STEC1HC26-2-2-1-2-3-BB-f-##	1.5
TUXP.SEQ.21-1-2-1-B-##-2-BB-f-##	1.5

Cuadro 9. Líneas amarillas resistentes a F.moniliforme.

Genealogía	Calificación
(POB.24XPOB.27)-4-1-B-1-1-BBB-2-B-##-BB	1.3
POB.24STEC1HC18-3-1-2-1-1-BBB-1-##-BB	1.3
POB.24STEC1HC21-3-1-2-1-1-BBB-2-##-BBB	1.3
POB.27C5HC71-3-1-1-2-BBB-##-2-BB	1.3
POB.36C5HC49-1-1-B-####	1.3
(P22F128XP22F25)-2-2-3-1-BB-f-##	1.5
(POB.24XPOB.26)-5-1-2-2-BBB-2-B-#-BBB	1.5
POB.24(STE)C2-29-BBBB-##-B	1.5
POB.24C5HC219-1-1-B-f-#	1.5
POB.24STEC1HC21-3-1-2-1-2-BBB-2-##-BB	1.5
POB.27C5HC1-1-3-B-#-11-1-BB-#	1.5
POB.27C5HC71-3-1-B-##-9-1-3-1-B-#	1.5
POB.28.TSR-33-2-7-1-2-BB-f-##	1.5
POB.36C5HC144-2-2-B-ff-#	1.5
Sint.Am.TSR-76-1-1-1-2-BB-f-##	1.5
Sint.Am.TSR-76-1-2-2-2-BB-f-##	1.5
Sint.Am.TSR-76-1-2-2-3-BBBB-##-BBB	1.5
Sint.Am.TSR-76-1-2-3-1-BB-f-##	1.5
Sint.Am.TSR-76-1-2-3-2-BB-f-##	1.5
Sint.Am.TSR-76-2-1-1-1-BB-f-##	1.5
Sint.Am.TSR-76-2-1-3-4-BB-f-##	1.5

Las líneas CML'S también han sido evaluadas para su reacción a *Rhizoctonia sp.* por el programa de maíz de la India. Referencias previas indican dificultad en encontrar fuentes de resistencia para este patógeno. Las líneas CML-9, CML-19, CML-55, CML-254 y CML-305 mostraron buena tolerancia en campo a esta enfermedad (Cuadro 10).

La evaluación de líneas endocriadas para su reacción al virus del rayado del maíz ha resultado en la identificación de 3 líneas (CML-256, CML-270 y CML-273) con buena resistencia y otras 3 líneas (CML-277, CML-278 y CML-281) con moderada resistencia a este virus (Cuadro 11). Este grupo de líneas también han sido evaluadas para tolerancia a acidez del suelo por el programa regional de maíz de Sur América. Aunque no se presentan datos, al menos cinco líneas (CML 27, CML 36, CML 40 y las líneas SAT-76-1-2-2-2-BB-f y SAT-76-1-1-1-2-BB del sintético amarillo TSR) resultaron tolerantes a suelos ácidos.

Actualmente las líneas CML'S y otras líneas prometedoras están siendo evaluadas para achaparramiento, dolencia que constituye un serio problema en algunos países de Centro América y el Caribe. Tenemos esperanza en que este esfuerzo resultara en la identificación de algunas líneas con resistencia al complejo viral causante de la enfermedad.

Cuadro 10. Líneas Tolerantes a Rhizoctonia.

CML No,	Calificación
CML 254	3
CML 305	3
CML 55	3
CML 9	3
CML 19	3

Cuadro 11. Líneas Resistentes a MSV.

CML No.	Calificación
CML 256	1.5 - 1.0
CML 270	
CML 273	
CML 277	2.0 - 2.5
CML 278	
CML 281	

CONCLUSIONES

1. Los resultados de los ensayos de rendimiento per-se de líneas endocriadas, así como los viveros de evaluación para diferentes estreses bióticos y abióticos han sido bastante esperanzadores. Aunque las líneas no fueron previamente seleccionadas para estos caracteres, algunas líneas resultaron resistentes/tolerantes a la cenicilla del maíz, *Rhizoctonia*, virus del rayado del maíz y *Fusarium moniliforme*. Igualmente, un numero de líneas presentan buen nivel de tolerancia a sequía y acidez del suelo.

2.- Algunas de estas líneas constituirán buenas fuentes para la transferencia de resistencia a otros genotipos de maíz.

REFERENCIAS

Pandey, S., and C.O. Gardner. 1992. Recurrent selection for population, variety and hybrid improvement in tropical maize. *Adv. Agron.* 48:1-87.

Vasal, S. K., S.D. McLean, F. M. San Vicente, and S.K. Ramanujam. 1994. Annual Progress Report Lowland Tropical Maize Subprogram. Mexico,D.F.: CIMMYT.

Retos para Alcanzar el Desarrollo de Híbridos Simples de Maíz en los Países en Vías de Desarrollo

Surinder K. Vasal¹, Félix San Vicente², Scott McLean³, Kumar Ramanujam², Miguel Barandiarán³, Antonio Ramírez⁴ y José G. Avila⁴

RESUMEN

Este trabajo discute retos importantes que deben afrontarse en el desarrollo de híbridos simples de maíz. La tecnología de híbridos de progenitores múltiples fue diseñada para encubrir debilidades de las líneas endocriadas con respecto a rendimiento, vigor y otras características, mediante la incorporación de fases adicionales en el proceso de producción de semillas para hacer la misma económicamente viable. Los híbridos simples serían particularmente útiles no sólo desde el punto de vista del mejorador sino también del productor de semillas. Diversos procedimientos y estrategias del mejoramiento genético para el desarrollo híbridos y líneas endocriadas productivas y vigorosas serán discutidos. Estrategias a corto plazo, particularmente el reciclaje de líneas para desarrollar líneas progenitoras agronómicamente superiores serán discutidas. Se presentarán resultados de evaluación de líneas endocriadas para enfatizar que líneas con buen potencial de rendimiento de 3.0-5.0 t/ha, pueden ser desarrolladas para hacer más factible la tecnología de híbridos simples.

En los últimos 50 años el mejoramiento de maíz ha evolucionado considerablemente. Los métodos de selección individual fueron remplazados por métodos de evaluación de progenies. Más recientemente los procedimientos que enfatizan el concepto de híbridos están ganando popularidad, implicando el uso de selección de progenies autofecundadas conjuntamente con estimados de aptitud combinatoria. En programas con mayor énfasis en híbridos varios tipos de selección recurrente interprovincial están siendo utilizados. De igual manera los procedimientos envueltos en el desarrollo de híbridos están evolucionando continuamente. Los híbridos no convencionales han sido desplazados gradualmente por híbridos convencionales. Asimismo, dentro de los híbridos convencionales hay una marcada tendencia a dedicar

mayores esfuerzos al desarrollo de híbridos simples en sustitución de híbridos multiparentales. Este tipo de evolución ha sido drástica en los países desarrollados, donde la totalidad del hectareaje es sembrado con híbridos simples.

La situación en los países en vías de desarrollo es completamente diferente, y prácticamente todos los diferentes tipos de híbridos convencionales y no convencionales están siendo cultivados con diferentes niveles de éxito. La tendencia con el transcurso del tiempo, esta cambiando hacia híbridos convencionales; pero sin embargo algunos programas nacionales están desarrollando activamente su investigación en híbridos, y la revolución de los híbridos simples esta por llegar en algunos países subdesarrollados así como sucedió en el mundo desarrollado 30 años atrás.

La tecnología de híbridos multiparentales fue diseñada por Jones (1918), para enmascarar las debilidades de las líneas endocriadas con respecto a productividad y vigor, y hacer de la producción de semilla híbrida una propuesta económicamente viable. Un viraje de la tecnología de híbridos multiparentales hacia la de híbridos biparentales estará determinada por el comportamiento per se de las líneas ha ser utilizadas como parentales hembras en híbridos simples. Los acontecimientos en el mundo desarrollado han sido contundentes al adoptar totalmente la tecnología de híbridos simples. Esto ha sido posible mediante la producción de líneas endocriadas vigorosas y altamente rendidoras, que permiten la viabilidad económica de la producción de semillas.

Las estrategias en el mundo desarrollado han sido bastante innovadoras respecto a los procedimientos involucrados en el desarrollo de líneas endocriadas. El reciclaje de líneas élite es el procedimiento comúnmente utilizado por el sector privado de estos países. Líneas derivadas de esquemas de selección recurrente normalmente provienen de programas de mejoramiento de universidades publicas, pero en general la contribución de este tipo de líneas ha sido relativamente limitado. Es probablemente justo decir, que todo el esfuerzo dedicado al desarrollo de híbridos

¹ Coordinador Subprograma de Maíz para Trópicos Bajos; ²Post Doctorado, ³Científico Asociado y ⁴Ingeniero Agrónomo; respectivamente, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México.

en los Estados Unidos esta basado en pocas líneas endocriadas (Smith,1988).

Los países en vías de desarrollo han experimentado dificultades para lograr desarrollar buenas líneas endocriadas, principalmente debido a que las poblaciones base son drásticamente afectadas por los efectos de depresión endogámica. Autofecundación continuada en poblaciones de polinización cruzada es el método comúnmente preferido. Los esquemas de reciclaje son ya sea desconocidos o utilizados limitadamente por algunos programas de maíz de avanzada.

Este documento discute las bondades de la tecnología de híbridos biparentales y la estrategia necesaria para acelerar el desarrollo y adopción de los mismos en el tercer mundo.

BONDADES DE LOS HÍBRIDOS SIMPLES

A los híbridos simples se les atribuyen entre otras, las siguientes ventajas:

1. Son fáciles de generar y involucran menos fases en la producción de semilla que los híbridos multiparentales. Por ejemplo, para la producción de semilla de híbridos simples se requieren tres etapas, mientras que para híbridos triples y dobles se requieren cinco y ocho respectivamente.
2. Algunos híbridos superiores pueden ser identificados en un periodo relativamente corto de tiempo.
3. Las etapas de mejoramiento son relativamente más simples y en menor cuantía, lo que resulta en reducción de costos en el desarrollo de este tipo de híbridos.
4. La identificación y desarrollo de híbridos puede alcanzarse en una sola fase en contraste con dos o mas en el caso de híbridos multiparentales.
5. El periodo de tiempo destinado a la identificación de nuevos híbridos puede reducirse drásticamente y pueden dedicarse recursos y esfuerzos adicionales de una manera agresiva al desarrollo de líneas más vigorosas y productivas.
6. Los problemas en la producción de híbridos simples son fácilmente identificables y correctivos apropiados pueden adoptarse de manera de corregir los mismos.

7. La tecnología de híbridos biparentales permite la producción de híbridos uniformes y altamente rendidores que son mas adecuados para la cosecha mecanizada.

ESTRATEGIA PARA ACELERAR LA TECNOLOGIA DE HIBRIDOS SIMPLES EN PAISES EN VIAS DE DESARROLLO

La siguiente sección enumera los aspectos que deben considerarse para acelerar el desarrollo y adopción de la tecnología de híbridos biparentales en el tercer mundo.

1. Los patrones heteróticos deben enfatizarse y fortalecerse donde sea necesario.
2. En poblaciones base, los procedimientos de selección deben enfatizar aspectos orientados hacia hibridación, incluyendo tolerancia a la depresión endogámica, aptitud combinatoria, y la identificación de patrones heteróticos para la maximización de la heterosis.
3. Incrementar la eficiencia en los procedimientos de identificación de híbridos mediante el desarrollo de líneas probadoras apropiadas para cada par de poblaciones heteróticas.
4. Los esfuerzos dedicados al desarrollo de líneas endocriadas deben ser fortalecidos, de manera de obtener una buen germoplasma de líneas élite.
5. Los procedimientos de reciclaje deben abordarse agresivamente mediante el desarrollo de poblaciones F_2 utilizando líneas élite.
6. La evaluación de líneas per se debe adoptarse con el objeto de disponer de una caracterización completa de las mismas, incluyendo su potencialidad como hembra o macho en la confección del híbrido.
7. A medida que los programas adquieren más sofisticación es necesario identificar cuales líneas serán utilizadas como hembras y cuales como polinizadores. Al llegar a este punto el reciclaje debe ser efectuado solo entre líneas hembras o entre líneas polinizadoras.
8. Los esfuerzos en la identificación de probadores nuevos y superiores deben ser continuos. Probadores de baja productividad deben ser reemplazados por nuevos probadores a medida que estos son identificados.

9. Estrategias de desarrollo de híbridos que enfatizan una sola fase de evaluación deben ser introducidos. Asimismo, el mejorador debe identificar líneas probadoras no parentales, que permitan obtener en una sola etapa información acerca de aptitud combinatoria al igual que identificación de híbridos superiores.

10. Debe incrementarse el uso de altas densidades de siembra durante el desarrollo de líneas endocriadas, para acumular tolerancia en general a condiciones desfavorables, y quizás alguna tolerancia a la sequía.

11. El reciclaje de líneas debe sistematizarse utilizando resultados de ensayos de evaluación de líneas per se, así como de ensayos para estimación de aptitud combinatoria en diversos ambientes.

CONSIDERACIONES FINALES

Algunos de los puntos mencionados anteriormente han sido enfatizados por el programa de híbridos del CIMMYT, y estamos muy complacidos con los resultados obtenidos en un tiempo relativamente corto. El programa ha desarrollado un número considerable de líneas endocriadas, que podrían utilizarse como hembras en la confección de híbridos simples.

Mediante el uso de densidades de siembra y prácticas culturales apropiadas, algunas de las líneas pueden producir 4 t/ha de semilla de buena calidad.

Varios híbridos simples también han sido identificados a través de los ensayos internacionales y otros ensayos de híbridos, los cuales rinden 6 o más t/ha promedio en múltiples localidades.

La tecnología de híbridos biparentales se está haciendo realidad en algunos países asiáticos tales como China, Tailandia, y Vietnam, y algunos otros países seguirán este ejemplo en los años venideros. Es oportuno mencionar que la preocupación respecto a vulnerabilidad genética, debe considerarse mediante el uso de germoplasma divergente y disponibilidad inmediata de líneas, que combinen resistencias a los estreses bióticos importantes que eventualmente puedan manifestarse.

REFERENCIAS

- Jones, D. F. 1918. The effects of inbreeding and cross-breeding upon development of maize. P. 5-100. *In* Connecticut Agric. Exp. Stn. Bull. 207.
- Smith, J. S. C. 1988. Diversity of United States hybrid maize germplasm: Isozymic and chromatographic evidence. *Crop Sci.* 28:63-69.

Evaluación de Híbridos y Variedades Experimentales de Maíz de Grano Amarillo en Tres Localidades de Panamá, 1995-96

Alfonso Alvarado y Daniel Pérez¹

RESUMEN

En 1995, fueron evaluados un total de 13 híbridos desarrollados por el Programa Regional de Maíz (PRM) y el IDIAP, Dekalb, Pioneer, además de 4 variedades experimentales procedentes de CIMMYT-México. Las evaluaciones se realizaron en la finca de un productor en Parita y en campos experimentales del IDIAP en Río Hato y El Ejido. El análisis combinado para rendimiento mostró diferencias significativas entre cultivares y localidades, lo que indica que los cultivares no se comportaron igual en todos los ambientes evaluados. Las localidades con mayores rendimientos fueron Río Hato y Parita, con un rendimiento promedio de 5.6 y 6.6 t/ha, respectivamente. En El Ejido la precipitación fue errática durante el desarrollo del cultivo, lo que afectó el potencial de producción de los cultivares, con un rendimiento de 4.6 t/ha. Sobresalieron por su alto rendimiento y buenas características agronómicas los híbridos dobles y triples experimentales del PRM ($A_6 \times A_{18}$), A_{16} , ($A_{16} \times A_{18}$), A_{22} , ($A_2 \times A_{18}$), A_6 , ($A_{16} \times A_{18}$), ($A_2 \times A_6$) y el híbrido XL-655 de Dekalb, con 6.5, 6.4, 6.4, 6.3 y 6.4 t/ha, respectivamente.

La producción de maíz en Panamá, se destina en un alto porcentaje para la elaboración de raciones balanceadas que utilizan principalmente para la alimentación de aves y cerdos. El consumo del maíz ha aumentado en los últimos años, de tal forma que la producción nacional no alcanza a cubrir la demanda total, por lo que se requiere la importación de grandes cantidades de este grano (más de 136 mil toneladas).

Hasta 1991, toda la semilla híbrida para las siembras mecanizadas era importada, cuando IDIAP liberó los primeros 3 híbridos nacionales a través de su programa de mejoramiento genético y procedió a la producción de semilla para las siembras de 1992. De igual forma en años anteriores puso a disposición de los productores la variedad Guararé 8128, de excelente adaptación en todo el país. El proceso de mejoramiento genético es dinámico por lo que se hace necesario continuar los estudios para identificar y seleccionar nuevos híbridos y

variedades que superen en rendimiento y características agronómicas a los cultivados actualmente.

El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial de rendimiento, características agronómicas y adaptación de híbridos y variedades experimentales desarrollados por el PRM, IDIAP, Pioneer, Dekalb y CIMMYT, a través de diferentes ambientes.

La hibridación en maíz se considera como un método genotécnico que tiene como objetivo el aprovechamiento de la generación F_1 proveniente del cruzamiento entre dos poblaciones (P_1 y P_2) con cualquier estructura genotípica, las cuales pueden ser líneas endogámicas, variedades de polinización libre, variedades, sintéticos o las poblaciones F_1 mismas en el caso de las cruza dobles (Márquez, 1988). Jenkins (1978) menciona Shull (1909) inició los conceptos de hibridación. Los pasos esenciales son: a) obtención de líneas homocigóticas o cercanas a la homocigosis; b) evaluación y selección de líneas puras en todas las cruza posibles; y c) utilización de las mejores cruza para la producción comercial.

De acuerdo con Vasal (1991) en el desarrollo de híbridos convencionales es muy importante identificar fuentes de germoplasmas con tolerancia a endocria y alta aptitud combinatoria. El mismo autor considera que los patrones heteróticos deben ser considerados para el desarrollo eficiente de híbridos en el menor tiempo posible. Una de las ventajas obtenidas con el uso de híbridos de cruza simple es que el rendimiento es superior a los obtenidos con las variedades de polinización libre, híbridos de cruza doble y triple (Jugenheimer, 1981).

El híbrido triple se consigue cruzando un híbrido simple con una línea pura, ambos seleccionados por sus características de productividad y capacidad de adaptación; y ocupa un lugar intermedio entre un híbrido simple y un doble (Llanos, 1984). El aprovechamiento de líneas puras ha dado lugar a la formación de híbridos con alto rendimiento los cuales superan a estructuras híbridas no convencionales. Son varios los autores que han estudiado la interacción genotipo x ambiente (Márquez, 1985); sin embargo, lo han hecho desde el punto de vista de variables observables, sin explicarlas en términos de variable causales o determinantes.

¹Ingeniero Agrónomo y ²Agronomo, IDIAP, Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron tres ensayos, dos en campos experimentales del IDIAP (Río Hato, El Ejido) y uno en la finca de un productor de Parita. Los tratamientos lo conformaron 14 híbridos de grano amarillo desarrollados por IDIAP, el PRM, Dekalb, Pioneer, y cuatro variedades de polinización abierta desarrolladas por CIMMYT (Cuadro 1). El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con 4 repeticiones siendo la unidad experimental de 2 surcos de 5 m de largo, separados a 0.75 m y 2 plantas por postura cada 0.5 m de distancia para una población teórica de 5.33 plantas/m². La siembra se hizo manualmente, el control de malezas se realizó con la aplicación de la mezcla de atrazina + pendimetalina a razón de 2.5 + 2.5 l de producto comercial/ha con posteriores limpiezas manuales. La fertilización consistió en la aplicación de 227 kg/ha de 15-30-8 al momento de la siembra, más 182 kg/ha de urea 30 días después de la germinación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los resultados obtenidos se realizó el análisis de varianza para rendimiento y otras variables estudiadas por localidad y a través de localidades (Cuadro 2), encontrándose diferencias altamente significativas para rendimiento en las tres localidades evaluadas. Los coeficientes de variación para rendimiento obtenidos por localidad (Parita 8.9%, Río Hato 11.9% y El Ejido 10.4%) y para el análisis combinado 11.4%, se consideran adecuados indicando que las variables experimentales fueron manejadas adecuadamente.

En el Cuadro 3, se aprecia los rendimientos obtenidos por localidad y el combinado de los mejores 8 híbridos experimentales incluidos en este ensayo, destacándose 6 híbridos desarrollados por el PRM y 2 desarrollados por Dekalb. Los rendimientos más altos correspondieron a Parita y Río Hato con medias de 6.6 y 5.6 t/ha. El rendimiento más bajo se observó en El Ejido con 4.6 t/ha, debido principalmente a una errática y mala distribución de la precipitación.

El Cuadro 4 muestra las medias de las características agronómicas evaluadas. Así podemos observar que a pesar de su alto rendimiento, algunos híbridos tienden al acame ($A_6 \times A_{18}$) A_{16} , ($A_{16} \times A_{18}$)($A_2 \times A_6$) y ($A_{16} \times A_{18}$) A_6 . Los híbridos XL-655, XL-370 de la empresa Dekalb y el P-8916 del IDIAP, fueron más afectados por hongos que atacan a la mazorca.

Las variedades de libre polinización (Cuadro 5)

fueron superadas significativamente por la mayoría de los híbridos incluidos en el ensayo. El rendimiento promedio más alto de las tres localidades correspondió a la variedad Across 8928, con 5.3 t/ha, y el más bajo a Across 8931, 4.3 t/ha. Más información se puede observar en los Cuadros del 6 al 9.

Cuadro 1. Híbridos y variedades experimentales de maíz de grano amarillo evaluados en tres localidades de Panamá.

Ent	Identificación	Institución	Origen
1	XL-655	Dekalb	Brasil
2	XL-660	Dekalb	Brasil
3	XL-650	Dekalb	Brasil
4	XL-370	Dekalb	Brasil
5	(A2 x A18)A16	PRM	Panamá
6	(A6 x A18)A16	PRM	Panamá
7	(A16 x A18)A6	PRM	Panamá
8	(A16 x A18)(A2 x A6)	PRM	Panamá
9	A16 x A18(A6 x A10)	PRM	Panamá
10	Across 8827	CIMMYT	México
11	Across 8824	CIMMYT	México
12	Across 8928	CIMMYT	México
13	Across 8931	CIMMYT	México
14	P-8916	IDIAP	Panamá
15	X-3018	Pioneer	U.S.A
16	E-9422	IDIAP	Panamá
17	XL-380	Dekalb	U.S.A.
18	(A16 x A18)A2	PRM	Panamá

Cuadro 2. Análisis de varianza por localidad para las variables estudiadas en el ensayo de cultivares híbridos y variedades experimentales de grano amarillo.

Variables	Parita	Río Hato	El Ejido	Comb.
Rend. t/ha	**	**	**	**
Alt. Maz.	**	NS	NS	**
Plantas/ m2	**	**	**	**
Mazorcas/m2	**	**	**	**
Pud. Maz.	**	**	NS	**
% mala cob.	**	**	**	**
Acame tallo	**	**	N.S	**
% CV Rend.	8.9	11.9	10.4	11.4
DMS kg/ha	840	938	681	513

Cuadro 3. Rendimiento por localidad y combinado en t/ha de los mejores híbridos experimentales. 1995.

Cultivares	Parita	Río Hato	El Ejido	Comb.
(A6 x A18)A16	8.146	5.892	5.324	6.454
(A16 x A18)A2	8.045	6.070	5.208	6.441
XL-655	8.063	6.283	4.891	6.413
(A2 x A18)A16	7.412	6.227	5.529	6.390
(A16 x A18)	7.553	6.149	5.272	6.325
(A2 x A6)				
(A16 x A18)	7.956	5.818	4.683	6.153
(A6 x A10)				
(A16 x A18)A6	7.587	5.461	5.144	6.064
XL-370	6.414	6.060	5.323	5.932
Media	6.605	5.557	4.605	5.589
DMS	841	938	681	513

Cuadro 4. Rendimiento y características agronómicas de híbridos experimentales evaluados en tres localidades. 1995.

CULTIVARES	Rend.(t/ha)	Alt Maz	% Acame Tallo	Plantas m ²	Maz m ²	% Pud Maz	% Sobre P-8916
(A6 x A18)A16	6.454	115	18.9	5.13	4.95	5.5	115
(A16 x A18)A2	6.441	120	9.4	5.05	4.91	6.4	115
XL-655	6.413	118	2.5	4.92	4.81	10.5	114
(A2 x A18)A16	6.390	108	7.0	5.06	4.85	5.6	114
(A16 x A18)(A2 x A6)	6.325	115	15.3	5.14	4.85	6.7	113
(A16 x A18)(A6 x A10)	6.153	114	11.1	5.09	4.87	6.8	110
(A16 x A18)A6	6.064	114	17.4	5.00	4.82	6.3	108
XL-370	5.932	109	6.7	4.79	4.96	10.8	106
P-8916	5.610	115	8.2	4.92	4.76	9.8	
Media	5.589						

Cuadro 5. Rendimiento y características agronómicas de variedades de polinización abierta evaluadas en tres localidades, 1995.

CULTIVARES	Rend (t/ha)	Alt. Maz	% Acame Tallo	Plantas (m ²)	Maz. (m ²)	% Maz. Pud.
Across 8928	5.274	115	11.3	4.84	4.52	10.5
Across 8824	5.035	113	10.3	4.73	4.35	11.4
Across 8827	4.711	103	9.9	4.99	4.64	15.9
Across 8931	4.351	101	7.6	4.93	4.68	21.4
Media	4.844					

Cuadro 6. Rendimiento promedio en kg/ha al 14% de humedad y características agronómicas de los cultivares comerciales y experimentales evaluados en Parita. 1995.

	Días a Flor	Altura (cm)		Acame Tallo %	Pud Maz %	Pta m ²	Maz m ²	Maz Pta	Mala Cob %	Rend kg/ha
(A6 x A18)A16	54	223	121	10.6	3.1	4.88	4.88	1.00	6.2	8146
XL-655	56	243	130	0.0	3.4	4.64	4.52	0.97	4.0	8063
(A16 x A18)A2	53	179	132	1.9	2.4	4.88	4.97	1.02	26.2	8045
(A16 x A18)(A6 x A10)	52	226	121	3.8	1.9	4.85	4.79	0.99	7.0	7956
(A16 x A18)A6	56	230	125	7.1	2.6	4.67	4.67	1.00	13.6	7587
(A16 x A18)(A2 x A6)	55	226	123	3.7	5.3	4.88	4.61	0.94	19.1	7553
(A2 x A18)A16	58	228	120	1.9	3.2	4.85	4.73	0.98	16.7	7412
P-8916	58	235	124	1.9	5.7	4.76	4.76	1.00	16.6	6432
XL-370	57	220	116	2.0	9.3	4.55	4.88	1.07	5.6	6414
E-9422	57	233	121	0.0	3.0	3.73	4.09	1.10	18.5	6304
X-3018	53	225	119	2.1	9.4	4.42	4.30	0.97	5.6	6100
XL-660	59	219	116	4.8	8.4	4.39	4.33	0.99	2.1	5854
Across 8824	58	229	123	8.4	7.2	4.33	4.18	0.97	13.8	5735
Across 8928	57	235	130	9.7	5.8	4.36	4.21	0.97	7.2	5731
Across 8827	57	218	114	7.1	7.5	4.70	4.42	0.94	11.6	5546
Across 8931	49	205	104	8.1	10.2	4.48	4.15	0.93	6.6	4766
XL-650	58	235	124	1.9	5.1	3.21	3.00	0.93	3.0	4651
Medias	56	224	121	4.5	5.4	4.50	4.44	0.99	11.0	6605
DMS										841
CV										8.9%

Cuadro 7. Rendimiento promedio en kg/ha al 14% de humedad y características agronómicas de los cultivares comerciales y experimentales evaluados en Río Hato

	Días a Flor	Altura (cm)		Acame Tallo %	Pud Maz %	Pta m ²	Maz m ²	Maz Pta	Mala Cob %	Rend kg/ha
		Pta	Maz							
XL-655	60	205	99	2.5	11.5	4.88	5.00	1.02	7.9	6283
(A2 x A18)A16	60	180	93	15.6	5.6	5.24	4.85	0.92	5.6	6227
(A16 x A18)(A2 x A6)	60	200	96	33.7	5.5	5.39	5.12	0.95	8.3	6149
(A16 x A18)A2	60	201	99	21.0	4.9	5.33	4.97	0.93	8.5	6070
XL-370	59	196	95	9.8	11.0	5.27	5.48	1.04	6.1	6060
(A6 x A18)A16	61	194	105	37.1	4.1	5.30	5.12	0.97	1.8	5892
(A16 x A18)(A6 x A10)	61	188	98	20.4	7.6	5.33	5.15	0.97	5.9	5818
XL-660	61	189	90	9.1	13.7	5.33	5.09	0.95	1.8	5723
P-8916	61	200	94	16.1	8.8	5.27	4.85	0.92	10.6	5647
Across 8928	61	208	94	16.1	9.0	5.27	4.70	0.89	7.1	5528
Across 8824	61	201	99	16.6	12.7	5.30	4.76	0.90	3.8	5487
(A16 x A18)A6	60	183	96	38.1	6.6	5.24	5.03	0.96	8.4	5461
X-3018	61	205	89	22.1	10.8	5.21	4.76	0.91	7.0	5316
E-9422	60	195	94	14.6	3.7	4.36	4.06	0.93	7.5	5164
Across 8827	60	186	83	12.5	22.6	5.33	4.97	0.93	9.8	4828
XL-650	61	193	95	14.3	4.3	4.03	3.48	0.86	2.6	4411
Across 8931	53	183	90	6.3	34.5	5.33	5.09	0.95	8.9	4408
Medias	60	195	94	20.0	10.7	5.14	4.85	0.94	6.6	5557
DMS										938
CV										11.9%

Cuadro 8. Rendimiento promedio en kg/ha al 14% de humedad y características agronómicas de los cultivares comerciales y experimentales evaluados en El Ejido

	Días a Flor	Altura (cm)		Acame Tallo %	Pud Maz %	Pta m ²	Maz m ²	Maz Pta	Mala Cob %	Rend kg/ha
		Pta	Maz							
(A2 x A18)A16	58	220	110	3.0	7.9	5.09	4.97	0.97	6.1	5529
(A6 x A18)A16	55	224	119	8.1	9.4	5.21	4.85	0.93	6.3	5324
XL-370	56	228	116	8.0	12.1	4.55	4.52	0.99	10.1	5323
(A16 x A18)(A2 x A6)	56	205	126	7.1	8.2	5.15	4.82	0.94	11.3	5272
(A16 x A18)A2	58	239	129	4.3	12.0	4.94	4.79	0.97	18.4	5208
(A16 x A18)A6	57	230	121	5.4	9.6	5.09	4.76	0.93	8.3	5144
XL-655	58	238	126	4.6	16.0	5.21	4.91	0.94	11.1	4891
E-9422	59	244	133	0.8	4.6	4.00	3.97	0.99	3.8	4775
P-8916	56	241	126	5.8	14.9	4.73	4.67	0.99	17.5	4752
(A16 x A18)(A6 x A10)	59	228	124	8.3	11.0	5.09	4.67	0.92	9.7	4683
Across 8928	58	225	120	7.5	16.3	4.88	4.64	0.95	7.2	4564
XL-660	56	225	120	8.1	15.3	4.51	4.36	0.97	13.2	4104
X-3018	57	228	120	9.6	11.9	4.09	3.82	0.93	11.1	4053
Across 8824	56	225	119	4.7	14.0	4.55	4.12	0.91	13.2	3882
Across 8931	49	214	110	8.5	17.1	4.97	4.79	0.96	6.4	3879
Across 8827	56	215	111	9.8	16.8	4.94	4.52	0.91	12.8	3760
XL-650	56	226	119	4.5	27.6	4.03	3.73	0.92	18.7	3142
Medias	56	227	120	6.4	13.0	4.77	4.52	0.95	10.8	4605
DMS										681
CV										10.4%

Cuadro 9. Rendimiento promedio en kg/ha al 14% de humedad y características agronómicas de cultivares de grano amarillo a través de tres localidades. 1995.

	Días a	Altura (cm)		Acame Tallo %	Pud Maz %	Pta m ²	Maz m ²	Maz Pta	Mala Cob %	Rend kg/ha
	Flor	Pta	Maz							
(A6 x A18)A16	57	213	115	18.9	5.5	5.13	4.95	0.96	4.7	6454
(A16 x A18)A2	57	206	120	9.4	6.4	5.05	4.91	0.97	17.7	6441
XL-655	58	228	118	2.5	10.5	4.92	4.81	0.98	7.8	6413
(A2 x A18)A16	59	209	108	7.0	5.6	5.06	4.85	0.96	9.0	6390
(A16 x A18)(A2 x A6)	57	210	115	15.3	6.7	5.14	4.85	0.94	12.7	6325
(A16 x A18)(A6 x A10)	57	214	114	11.1	6.8	5.09	4.87	0.96	7.5	6153
(A16 x A18)A6	58	214	114	17.4	6.3	5.00	4.82	0.96	10.1	6064
XL-370	57	215	109	6.7	10.8	4.79	4.96	1.04	7.1	5932
P-8916	58	225	115	8.2	9.8	4.92	4.76	0.97	14.9	5610
E-9422	59	224	116	5.5	3.8	4.03	4.04	1.00	1.0	5415
Across 8928	59	223	115	11.3	10.5	4.84	4.52	0.93	7.1	5274
XL-660	59	214	109	7.4	12.5	4.75	4.60	0.97	5.5	5227
X-3018	57	219	109	11.9	10.3	4.29	4.29	0.94	7.8	5156
Across 8824	58	218	113	10.3	11.4	4.73	4.35	0.92	10.0	5035
Across 8827	58	206	103	9.9	15.9	4.99	4.64	0.93	11.3	4711
Across 8931	50	200	101	7.6	21.4	4.93	4.68	0.95	7.3	4351
XL-650	58	218	113	7.3	13.0	3.76	3.40	0.91	8.6	4068
Media	57	215	112	10.0	9.8	4.81	4.61	0.96	9.4	5589
DMS										512.6
CV										11.4%

CONCLUSIONES

1. El análisis de varianza reportó diferencias significativas al 1% para rendimiento en las tres localidades estudiadas. Destacándose por su rendimientos en la localidad de Parita, los híbridos triples del PRM (A₆ x A₁₈)A₁₆, (A₁₆ x A₁₈)A₂ y el XL-655; en Río Hato los mejores fueron el híbrido XL-655, y el híbrido triple (A₂ x A₁₈)A₁₆; en El Ejido, los híbridos triples (A₆ x A₁₈)A₁₆, (A₁₆ x A₁₈)A₂ y XL-655.
2. Los rendimientos más altos ocurrieron en las localidades de Parita, Río Hato, los más bajos correspondieron al campo experimental de El Ejido.
3. Los híbridos triples lograron los rendimientos más altos, sin embargo no difieren estadísticamente de los híbridos dobles.
4. Entre las variedades de polinización libre, Across 8928 obtuvo el más alto rendimiento con 5.3 t/ha a través de localidades.

REFERENCIAS

- Jenkins, M.T. 1978. Maize Breeding During the development and early years of Hybrid Maize. In: Walden D.B. (ed) Maize Breeding and Genetics. John Wiley and Sons Inc. p.13-28.
- Jugenheimer, R.W. 1981. Maíz , variedades mejoradas métodos de cultivo y producción de semillas. Trad. del Inglés por Rodolfo Piña García. Ed.Limusa S.A. Mexico 841 p.
- Llanos C. 1984. El Maíz, su cultivo y aprovechamiento. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.
- Márquez, S.F.1985. Genotecnia Vegetal, métodos, teoría y resultados. Tomo I, AAG. Editora S.A. México.
- Márquez S.F.,1988. Genotecnia Vegetal. tomo II, AGT Editor, S.A. México p. 1-343.
- Vasal S.K., Vergara N, Srinivasan. Comportamiento de híbridos intra e interpoblaciones entre líneas endocriadas e implicaciones de estos resultados en el desarrollo de híbridos. Memoria XXXVI Reunión Anual PCCMCA. Panamá.

Evaluación de Cruzas Simples, Mestizos y Variedades de Polinización Abierta de República Dominicana

Félix Navarro¹, José Ortiz¹, Pedro Comalat², Ramón Celado² y Julio Mancebo²

RESUMEN

En 1994 se evaluaron once cultivares de maíz de grano amarillo, incluyendo seis cruzas simples, dos mestizos y tres variedades; todos desarrollados en República Dominicana. El objetivo era obtener información del comportamiento de materiales recientemente formados en comparándolos con tres variedades testigo incluidas en la prueba. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones en 4 localidades: Baní, San Juan, Nigua y San Cristóbal. Se realizó análisis de varianza y prueba de Duncan para obtener las diferencias estadísticas entre los cultivares. El híbrido NO3xDK12 superó en 34% a las variedades CNIA-12 y 12% a UNPHU-301C a través de las 4 localidades. Se recomienda incluir NO3xDK12, NO3xDK14 y NO3xDK19 en combinaciones híbridas triples o dobles; producir los mestizos NO3xUNPHU-304C y NO3xUNPHU-305C y hacer pruebas más extensivas con ellos, ya que éste cultivar puede ser atractivo para la industria de semillas.

En República Dominicana el cultivo del maíz está creciendo en importancia, registrándose una tendencia creciente en su consumo aparente. En 1993, la demanda aparente fue de 11 millones de qq, pero más del 90% de esta cantidad fue importada (SEA, 1994). Por otro lado, muchos agricultores mediano y alto nivel tecnológico dedicados al cultivo de hortalizas y frijoles requieren de un cultivo no hospedero de mosca blanca para sistemas de rotación, para romper el ciclo biológico de esta plaga, que ha causado daños cuantiosos en esos cultivos en años recientes (Alvarez et al., 1992). El maíz puede representar una buena alternativa si se pueden obtener niveles adecuados de rentabilidad. Además, un material mejorado de maíz puede también aprovechar la fertilización residual a parcelas hortícolas y de frijoles (Abreu y Romero, 1984). Es de esperar que la eficiencia de utilización de ese abono residual sea mayor para materiales mejorados que para las variedades tradicionales (Navarro y Ortiz, 1992).

Un factor que cobra importancia es que existe un mercado interno interesante, aún no cuantificado, para el maíz cosechado en fresco, cuando el grano está en la

etapa de masa con consistencia pastosa. En estos casos, hemos observado que las variedades mejoradas son preferidas sobre los materiales locales.

En República Dominicana se han generado y probado un número de líneas de maíz en diferentes instituciones que han servido para la formación de cultivares de un gran potencial de uso (Comalat, 1988; Ortiz y Comalat, 1992). Igualmente, el Programa Regional de Maíz para Centroamérica y El Caribe (PRM) ha desarrollado materiales con grandes posibilidades para su combinación formando cultivares apropiados a los requerimientos existentes en el país (Castellanos et al., 1993, Pérez et al., 1993, Vasal et al., 1994).

El presente trabajo tiene como objetivo la obtención de materiales de maíz con ventajas comparativas para uso en los sistemas de producción mencionados antes. Tales cultivares deberán ser factibles de producirse como semilla y ser puestos a la disposición de los agricultores. Objetivos específicos eran la obtención de información de las características agronómicas de los cultivares evaluados, la comparación del rendimiento y las características generales de seis híbridos simples, dos mestizos y variedades de polinización abierta y la selección de los cultivares con mejor comportamiento, recomendar su utilización directa o como progenitores para generar materiales de mayores posibilidades de uso como semillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo incluyó 11 genotipos de maíz (Cuadro 1). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con 4 repeticiones y 4 localidades. La unidad experimental fue de 4 surcos de 5m de largo, separados a 0.8 m entre ellos y a 0.5 m entre posturas, con dos plantas por postura a una densidad teórica de 5.33 plantas/m². Se evaluaron rendimiento de grano al 15% de humedad, días a la floración, altura de planta y mazorca, acame (incluyendo plantas dobladas desde su base o debajo de la mazorca en más de 30 grados o tallos quebrados), aspecto de plantas, (escala 1-5, 1=excelente y 5=pésimo) porcentaje de mazorcas podridas y plantas con achaparramiento.

¹ Fitomejoradores y Técnicos del Programa de Maíz, CESDA, San Cristóbal, Rep. Dominicana.

Cuadro 1. Cultivares evaluados según su origen y tipo.

Cultivar	Origen	Tipo de cultivar
NO3xDK12	Nigua	Híbrido simple
NO3xDK14	Nigua	Híbrido simple
NO3xDK19	Nigua	Híbrido simple
NO3xNO6	Nigua	Híbrido simple
NO3xNO7	Nigua	Híbrido simple
NO3xT66	Nigua	Híbrido simple
NO3xUNPHU-304C	Nigua	Mestizo
NO3xUNPHU-305C	Nigua	Mestizo
CESDA-88	CESDA	Variedad
CNIA-12	Dpto. Semillas, SEA	Variedad
UNPHU-301C	Nigua	Variedad

Las localidades fueron: 1) La estación experimental El Escondido, Baní, (18°22' latitud N y 70°22' longitud W), en un bosque muy seco tropical montano. 2) La estación experimental del Centro de Investigaciones Aplicadas a Zonas Áridas (CIAZA) en Azua (18°22' N y 70°50' W), 40 msnm y clima de bosque seco subtropical, suelo Typic torrifluvents, pendiente de 2%, moderadamente profundo, y bien drenado 3) La finca experimental del Instituto Politécnico Loyola en San Cristóbal, (18°25' N y 70°26' W) a 44 msnm en un bosque húmedo subtropical; suelos franco arenosos y llanos; y 4) La Hacienda Nigua, campo experimental de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (18°20' N y 70°04' W), a 14 msnm en un bosque seco tropical; suelo Typic haplustulls, franco arcilloso, de drenaje moderado, con profundidad de 40 cm y pendiente del 1%.

En dos los experimentos se utilizó riego por gravedad. Solo en el caso de Nigua hubo deficiencias hídricas debido a problemas con el sistema de riego. Se fertilizó a dosis de 100 kg N/ha y se controló efectivamente los insectos y malezas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro 2 muestra diferencias altamente significativas para localidad y significativas para localidad x cultivar. Las diferencias entre los cultivares son significativas a un 7% de probabilidades de error. Como se observa en el cuadro 3 el híbrido NO3xDK12 mostró mayor rendimiento en grano que cualquiera de las variedades bajo estudio. Igualmente, los mestizos NO3xUNPHU-305C y NO3xUNPHU-304C tuvieron rendimientos superiores a las variedades CNIA-12 y CESDA-88. Fue notable el buen comportamiento de la variedad UNPHU-301C para la localidad de Azua, en donde se comportó igual al híbrido NO3xDK12.

Todos los híbridos, los dos mestizos y la variedad UNPHU-301C resultaron más rendidores que las variedades CNIA-12 y CESDA-88 en esta prueba; esto indica que se está perdiendo la posibilidad de obtener de producir probablemente hasta más de un 30% mayor cantidad de granos con la utilización de CNIA-12 (Cuadro 1). Aún en la localidad en donde se registraron los más bajos rendimientos, (IPL), al menos un híbrido, el NO3xNO7, y un mestizo, el NO3xUNPHU-304C, rindieron más de 1.4 t/ha más que las variedades CNIA-12 y CESDA-88; y de ellos, el NO3xNO7 le sacó 1 t/ha de ventaja a la variedad UNPHU-301C en esa localidad. Esta es otra evidencia en contra de la antigua creencia de que en ambientes desfavorables las variedades rinden mejor que los híbridos u otros cultivares. El comportamiento de CNIA-12 estuvo en consonancia con lo expresado por Navarro y Ortiz (1992) en que esa variedad no saca provecho de los ambientes favorables de igual manera que otras variedades mejoradas o híbridos para conseguir un mejor rendimiento en grano.

Con respecto a las características agronómicas (Cuadro 4), entre los cultivares más rendidores, los híbridos NO3xDK12 y NO3xDK19 presentan las mejores características al presentar muy buen aspecto general de plantas, porcentaje de mazorcas sanas igual a la variedad adaptada CNIA-12 y buen comportamiento para el porcentaje de plantas no acamadas, y para plantas no afectadas por la enfermedad achaparramiento del maíz. El híbrido NO3xDK14 también presentó buenas características de tolerancia al achaparramiento y para plantas no acamadas, aunque presentó un buen comportamiento para el porcentaje de mazorcas sanas. El acame que presentan las variedades CNIA-12 y CESDA-88 es una de las características más indeseables que muestran esos materiales.

El rendimiento de los híbridos NO3xDK14 y NO3xDK19 reafirmó lo encontrado en el estudio de habilidad combinatoria realizado por Ortiz y Comalat (1993); sin embargo, en ese mismo trabajo el híbrido NO3xT66, tuvo un comportamiento superior al expresado en la presente evaluación. NO3xT66 también tuvo mejor comportamiento en el ensayo del PCCMCA conducido en 1995 sobre 11 localidades, donde ocupó el tercer lugar en rendimiento, con 5.48 t/ha (Pixley, 1995).

Cuadro 2. Análisis de varianza para rendimiento de 11 cultivares a través de 4 localidades en 1994.

Fuente de Variación	Grado de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Probabilidad Error
Repetición	3	6.439	2.146	2.14	0.098
Localidad	3	51.443	17.148	17.10	0.000
Cultivar	10	18.256	1.826	1.82	0.063
LocxCultivar	30	48.062	1.602	1.60	0.039
Error	129	129.385	1.003		
Total	175	253.585			

Coeficiente de variación = 24.7%

Cuadro 3. Rendimiento en grano por localidad, once cultivares, 1994.

Cultivar	Promedio 4 locs	% Rend >CNIA-12	Bani	Nigua	Azua	IPL
NO3xDK12	4.59 A	34.0	4.88	4.98	5.25	3.25
NO3xDK14	4.29 AB	25.1	5.83	4.77	4.11	2.44
NO3xDK19	4.23 AB	23.6	5.36	3.88	4.42	3.24
NO3xU-305C	4.21 AB	23.1	3.88	4.96	4.90	3.12
NO3xU-304C	4.19 AB	22.4	4.09	4.94	3.74	4.00
NO3xNO7	4.16 AB	21.3	4.86	3.29	4.08	4.40
UNPHU-301C	4.09 B	19.5	3.89	3.93	5.16	3.39
NO3xT66	4.04 B	18.0	4.26	4.62	4.51	2.77
NO3xNO6	3.81 BC	11.1	4.92	4.13	3.36	2.82
CESDA-88	3.55 C	3.5	4.19	3.28	4.22	2.50
CNIA-12	3.42 C		3.43	3.84	3.47	2.59

Duncan 5%

0.42

Cuadro 4. Comportamiento de los once cultivares para algunas características agronómicas, a través de las localidades

Cultivar	Altura Planta	Altura Mazorca	Aspecto Planta	% Mzcas Sanas	Días a Flor	% No Acame	% No Achap
NO3xDK12	208cm	124cm	1.6	82.0	55.9	89.0	79.1
NO3xDK14	203	102	2.2	77.2	52.3	83.1	71.3
NO3xDK19	205	123	1.7	83.5	56.5	81.7	79.4
NO3xU-305C	203	105	2.2	77.6	54.3	86.2	67.0
NO3xU-304C	213	105	2.4	76.4	55.5	91.3	68.8
NO3xNO7	209	107	2.3	72.1	54.8	78.5	52.7
UNPHU-301C	203	106	2.2	78.7	54.5	82.7	66.9
NO3xT66	212	117	1.9	75.4	57.5	80.1	74.1
NO3xNO6	213	113	2.4	77.0	55.6	88.5	62.1
CESDA-88	195	98	2.8	75.3	51.2	69.0	68.4
CNIA-12	211	107	3.1	83.5	50.8	70.5	61.6
Media	207	110	2.3	78.1	54.4	87.7	68.3
C.V.(%)	8.5	12.9	16.8	10.2	2.2	12.3	14.2
DMS (5%)	12.3	9.9	0.27	5.5	1.0	10.8	6.8
DMS (1%)		13.3	0.35	7.3	1.3	14.3	8.9
Sx	4.4	3.53	0.095	1.98	0.34	3.8	2.42
#Localidades	4	4	4	4	3	2	4

En la Figura 1 se observa una comparación del rendimiento de los mejores híbridos, escogidos en base a su productividad en grano y comportamiento agronómico, con los mestizos, las variedades y la variedad local CNIA-12. Se puede notar como los híbridos escogidos o los mestizos presentan ventajas respecto a las variedades, con la excepción de Azua,

donde la variedad UNPHU-301C tuvo muy buen comportamiento; ver también la Fig. 2. En la Fig. 3 se enfatiza la superioridad del comportamiento de los mestizos sobre la variedad CNIA-12. En un contraste ortogonal realizado los mestizos fueron superiores al grupo completo de variedades probadas si se asume una probabilidad de error superior al 6%.

La información obtenida en este ensayo y estudios anteriores con los mismos materiales, sugieren que hay potencial en los materiales mejorados para sustituir a la variedad CNIA-12 por materiales más productivos si la sustitución no implica desventajas en su mercadeo. Se recomienda incluir el NO3xDK12, NO3xDK14 y NO3xDK19 en combinaciones híbridas triples o dobles, productos híbridos con mayores posibilidades de comercialización. Se recomienda también producir los mestizos NO3xUNPHU-304C y NO3xUNPHU-305C y continuar pruebas mas extensivas con ellos, ya que estos pueden constituir materiales terminados respecto a las posibilidades de comercialización de su semilla.

REFERENCIAS

Abreu, I. y Romero, J.M. 1984. Respuesta del Maíz (*Zea mays L.*) a Cuatro Niveles de Nitrógeno y Fósforo en Azua, República Dominicana. Mimeografiado CIAZA.

Alvarez, P., Alfonseca, L., Abud, A., Villar, A., Rowland, R., Marcano, E., Borbón, J.C. Y Garrido, L. 1992. Las Moscas Blancas en la República Dominicana *In* Memoria del Taller Centroamericano y del Caribe sobre Moscas Blancas, 3-5 Agosto 1992, CATIE Turrialba.

Castellanos, S., Quemé, J.L., Fuentes, M., Larios, L., y Pérez, C. 1993. Evaluación de Cruces Dialélicos y Estimación de Aptitud Combinatoria de Diez Líneas de Maíz de Grano Amarillo *In* Síntesis de Resultados Experimentales 1992, J. Bolaños, G. Saín, R. Urbina y H. Barreto eds.

Navarro, F. y Ortiz, J. 1992. Caracterización de Cultivares de Maíz Dominicanos. XXVIII Reunión Sociedad Caribeña de Cultivos Alimenticios 28:344-362.

Ortiz, J. y Comalat, P. 1993. Habilidad Combinatoria de 8 Líneas Elites Dominicanas. *Agronomía Mesoamericana* 4:65-70.

Pérez, C., Larios, L., Quemé, J.L., Fuentes, M. y Castellanos, S. 1993. Evaluación de Líneas de Maíz de Grano Amarillo en Seis Ambientes de Centroamérica, 1992. *In* Síntesis de Resultados Experimentales 1992, J. Bolaños, G. Saín, R. Urbina y H. Barreto eds.

Pixley, L. 1995. Evaluación de Híbridos de Maíz (*Zea mays L.*) de Grano Blanco y Amarillo en Ambientes de Centro América, Panamá y El Caribe, San José, Marzo, 1995.

Secretaría de Estado de Agricultura (SEA) 1994. Plan Operativo 1994: Santo Domingo.

Vasal, S.K., Vergara, N. y Mclean, S. 1994. Estrategias en el Desarrollo de Híbridos Tropicales de Maíz. *Agronomía Mesoamericana* 5:184-189.

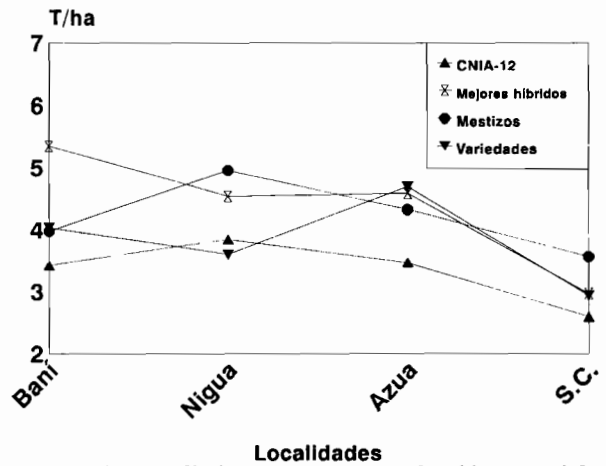


Figura 1. Rendimiento de grano de 11 materiales evaluados, 1994.

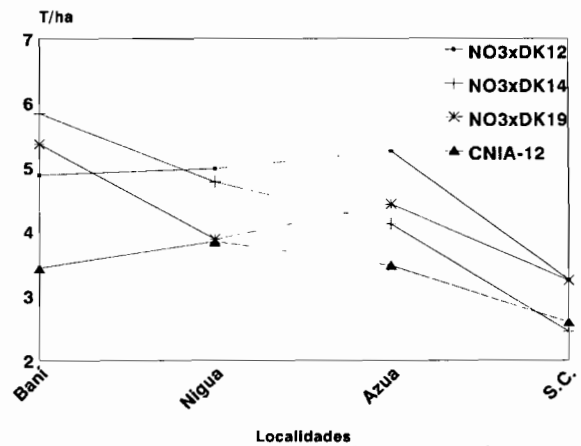


Figura 2. Rendimiento en grano de mestizos híbridos, 1994.

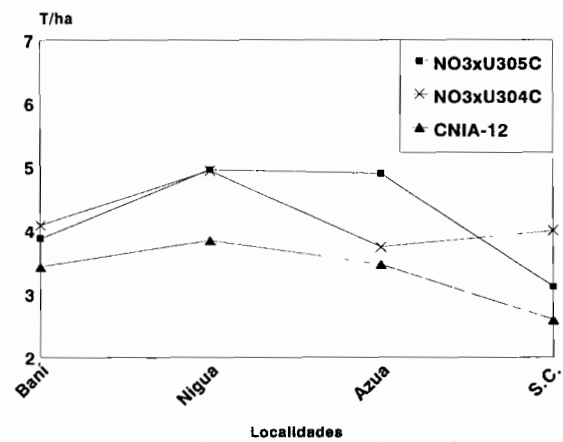


Figura 3. Rendimiento de grano de mestizos evaluados, 1994.

Dialelo de Variedades Dominicanas de Maíz (*Zea mays* L.)

José Ortíz¹, Félix Navarro¹ y Pedro Comalat¹

RESUMEN

Nueve variedades de polinización abierta y todas sus posibles combinaciones fueron evaluadas en dos ambientes de la República Dominicana en un diseño de dialelos. Los objetivos del estudio fueron determinar la habilidad combinatoria general (HCG) y específica (HCE) y estimar el nivel de heterosis involucrado para las cruces en cada combinación. El estudio detectó diferencias significativas entre las variedades, entre las cruces y el nivel de heterosis. El 52% de la variación entre cruces fue debida a efectos aditivos y el resto a efectos de dominancia e interacciones. Las cruces fueron 5% superiores a sus progenitores. La variedad NC-6 de grano blanco presentó un alto valor de HCG y los cruces CESDA-36xPob-24 y CESDA8xUNPHU-304C los valores más altos de HCE. Las cruces UNPHU-304CxCESDA-88 y Loyola-86xUNPHU-305C presentaron los valores más alto de heterosis entre los materiales amarillos.

La variación fenotípica de una población esta condicionada por la acción conjunta de su genotipo, el medio ambiente que le rodea, así como la interacción de ambos. Una de las herramientas utilizadas para estimar los componentes de varianza son los diseños de cruces (*mating design*), donde se desarrollan progenies que son posteriormente evaluadas, uno de estos diseños es el de dialelos. Jinks y Hayman (1953) y Griffing (1956) desarrollaron la teoría para el análisis de dialelos. Un estudio de este tipo permite determinar el comportamiento de cruces de progenitores y determinar la habilidad combinatoria general, debida a efectos aditivos y la habilidad combinatoria específica, debida a efectos de dominancia e interacciones.

Un análisis de dialelos que incluye los progenitores, así como todas sus posibles combinaciones se puede usar para determinar la heredabilidad de caracteres en variedades de polinización abierta, sintéticos y compuestos (Hallauer y Miranda, 1988). En este tipo de análisis el mejorador se interesa por la respuesta de los cultivares *per se*, así como la repuesta de sus cruces.

Los objetivos específicos de este estudio son determinar la variación debida a efectos de habilidad combinatoria general y específica de todas las posibles cruces de nueve variedades amarillas de maíz y determinar las variedades con mejor habilidad combinatoria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos evaluaciones, una en la Estación Experimental del Centro de Investigaciones para Zonas Áridas, CIAZA, en Azua (18°21' N, 70°50' W) a 40 msnm, y la otra en la Estación Experimental Arroyo Loro del Centro de Investigaciones Agrícolas del Suroeste, CIAS, en San Juan de la Maguana (18°49' N, 70°17' W) a 419 msnm. Ambas evaluaciones fueron realizadas durante el segundo semestre del año 1994.

Se incluyeron todas las combinaciones resultantes del cruce de nueve variedades de polinización abierta (Cuadro 1), así como las variedades *per se*, para un total de 45 entradas. Las variedades están descritas en Navarro y Ortiz (1992).

Se usó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental era de 2 surcos de 5 m de largo separados a 0.8 m entre sí, con 0.5 m entre posturas, a una densidad teórica de 5.33 plantas/m². El manejo agronómico en ambas localidades fue adecuado a las exigencias del cultivo.

El análisis estadístico se hizo de acuerdo al diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial, donde los factores fueron localidad y entradas. Para rendimiento se utilizó el método 2 de Griffing (1956) para un análisis de dialelos. En la evaluación se incluyen los progenitores y un juego de progenies F₁'s. Este método permite hacer una división ortogonal de los efectos debido a variedades, variedades vs cruces (nivel de heterosis) y los efectos de las cruces que son descompuestos a su vez en efectos de habilidad combinatoria general de las variedades y su respuesta en cruces específicos, es decir, su habilidad combinatoria específica. Puesto que las variedades utilizadas son una muestra de la población, el modelo I (fijo), es utilizado (Ortiz y Comalat, 1992).

¹ Mejoradores, Programa de Maíz CESDA, San Cristóbal, República Dominicana.

Cuadro 1. Genealogía de las variedades utilizadas para el dialelo.

Nombre	Genealogía	Origen
Loyola-86	Pob 24,26,28 x Francés L.	IPL 1994
Pob 24	Población 24	CIMMYT
UNPHU-301C	Across 7728 x CNIA-12	Nigua 1994
UNPHU 304C	CESDA-88 x NB-6	Nigua 1994
UNPHU-305C	UNPHU-301C x UNPHU-304C	Nigua 1994
CESDA-88	Pob 24,26,28 x Francés L.	Bani 1994
NB-6	Pob Santa Rosa 73	Nicaragua
CNIA-12 ó Francés L.	Variedad local	Depto. Semillas
CESDA-36	Pob 36 C4	CESDA 1994

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza para rendimiento se presenta en el Cuadro 2. No se detectó diferencia significativa entre las dos localidades utilizadas para el estudio. Tampoco el diseño detectó interacción de las variedades por los ambientes. Los efectos de entradas fueron descompuestos en efectos ortogonales debido a las variedades, sus cruzas y la comparación de las variedades con sus cruzas (Cuadro 2).

Se detectó diferencia entre las variedades *per se*, siendo las variedades más rendidoras UNPHU-301C y CESDA-36. El nivel de heterosis general involucrado en el análisis, la comparación de las variedades vs todas sus posibles cruzas, resultó ser significativo al $P < 0.08$. Las cruzas fueron en promedio 5.3% superior a las variedades. Los efectos de cruzas fueron descompuestos a la vez en variación debida a la habilidad combinatoria general (HCG) de las variedades y sus cruzas, habilidad combinatoria específica (HCE). Ambos efectos fueron estadísticamente significativos. Del total de variación debida a las cruzas el 52% correspondió a efectos aditivos, es decir varianza en HCG.

Cuadro 2. Cuadrados medios esperados utilizando el método 2 de Griffing (1956) para rendimiento (t/ha).

Fuentes	GL	Cuadrados Medios
Repetición	3	10,11**
Localidad	1	2,60ns
Entradas	44	2,50**
Variedades	8	2,20*
Variedades vs. Cruces	1	3,18***
Cruces	35	2,55ns
*HCG	8	5,81**
HCE	27	1,59
Localidad x Entradas	44	1,05ns
Error	267	1.06
Total	359	359

*,**,*** significancia al 1,5 y 10X de probabilidad

El Cuadro 3 presenta los valores de habilidad combinatoria general de cada variedad, así como sus cruces específicos. La variedad NB-6, de grano blanco y por tanto de patrón heterótico diferente a las evaluadas, resultó la variedad con mejor habilidad combinatoria general, se destaca la variedad Pob. 24 como la peor.

El valor de HCG en t/ha indica el incremento o disminución promedio de la variedad en las cruzas en que esta involucrada. En el Cuadro 3 puede destacarse adicionalmente que los cruces de CESDA-36xPob.24 y CESDA-88xUNPHU-304C resultaron ser las mejores combinaciones específicas. La cruz CESDA-88xCNIA-t2 se presenta con mala repuesta. El valor de HCE indica aumento o disminución en t/ha que lo esperado debido a interacciones genéticas y ambientales.

Las medias agronómicas y nivel de significancia de las variables agronómicas evaluadas de las variables evaluadas a través de localidades se presenta en el Cuadro 3. Una estrategia para los programas de generación de líneas es formar grupos heteróticos de líneas a partir de CLSDA-88 y UNPHU304C, para aprovechar la heterosis resultante de las cruzas de esos posibles grupos heteróticos detectados en este trabajo.

Entre los materiales de grano amarillo x amarillo, las cruzas UNPHU-304CxCLSDA88 (14.8%) y Loyola-86xUNPHU-305C (10.8%) mostraron buena heterosis La cruz CLSDA-88xNL-6 fue la que mostró mayor heterosis, rindiendo 35% más que el mejor padre; la variedad N13-6 de grano blanco. Las peores combinaciones por su heterosis negativa fueron Pob-24xUNPHU-305C, Pob-24xUNPHU-304C y UNPHU-304CxCESDA-36, rindiendo 27.8, 30.4 y 24.5% menos que el progenitor de mayor rendimiento. '

Cuadro 3. Medias de rendimiento (t/ha) de las cruzas de variedades evaluadas, sobre la diagonal. Habilidad combinatoria general de las variedades, la diagonal y habilidad combinatoria específica, debajo de la diagonal.

	Loy86	Pob24	U301C	U304C	U305C	CESDA88	NB-6	CNIA12	CE:SDA36
Loy86	<u>0,23</u>	4,19	4,70	5,25	5,32	4,77	5,77	4,68	4,82
Pob24	-0,21	<u>0,57</u>	3,84	3,98	3,76	4,37	4,64	4,22	4,95
U301C	0,01	-0,05	<u>-0,28</u>	4,56	4,99	4,70	4,70	4,26	4,20
U304C	0,15	-0,32	-0,03	<u>0,13</u>	4,26	5,96	5,68	4,97	4,17
U305C	0,33	-0,44	0,51	-0,64	<u>0,03</u>	5,08	5,12	5,00	4,56
CESDA88	-0,40	-0,01	0,04	0,89	0,11	<u>0,20</u>	6,02	4,01	4,41
N13-6	0,27	-0,07	-0,29	0,28	-0,18	0,55	<u>0,53</u>	5,01	4,70
CNIA12	-0,18	0,16	-0,09	0,21	0,34	-0,82	-0,15	<u>-0,11</u>	4,99
CE:SDA36	0,01	0,94	-0,10	-0,54	-0,04	-0,37	-0,41	0,52	<u>-0,16</u>

REFERENCIAS

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci.:463-493.

Hallauer, A.R. y Miranda-Filho, B. 1988. Quantitative Genetics in Maize Breeding. P 52-60. Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Jinks, J.L. y Hayman, B.I. 1953. The analysis of diallel crosses. Maize Genetics Coop. Newsletter 27:48-54

Navarro, F. y Ortiz, J. 1992. Caracterización de cultivares de maíz dominicanos. XXVIII Reunión Sociedad Caribeña de Cultivos Alimenticios 28:344-362.

Ortiz, J. y Comalat, P. 1992. Habilidad combinatoria de 8 líneas éliticas dominicanas de maíz (*Zea mays* L.). XXVIII Reunión Sociedad Caribeña de Cultivos Alimenticios 28:330-343.

Evaluación de Variedades Amarillas de Maíz

José Ortiz¹ y Félix Navarro¹

RESUMEN

Once variedades de maíz grano amarillo fueron evaluadas en 5 ambientes de Centro América y el Caribe durante 1994 y 1995. El objetivo de este estudio fue determinar el comportamiento de estos cultivares de maíz bajo los diferentes ambientes. Las variedades fueron sembradas en un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Resultados obtenidos demuestran que entre las variedades amarillas con mejores respuestas se encuentran las variedades UNPHU-304C, CESDA-36 y UNPHU-305C.

La importancia del achaparramiento en el maíz en República Dominicana y Centro América es bien conocida (Grogan y Rosekranz, 1968; Navarro et al., 1987). Ortiz et al. (1993) reportaron sobre 8 variedades de maíz amarillas en cinco ambientes de República Dominicana y Centro América bajo presión de la enfermedad. En dicho estudio, la variedad CESDA-88 tuvo la menor incidencia de achaparramiento, pero el rendimiento no fue afectado significativamente por la enfermedad.

El Programa Regional de Maíz (PRM) trabaja varias variedades de polinización abierta de maíz para incorporarles tolerancia al achaparramiento así como características agronómicas deseables. Diferentes materiales, generados en la República Dominicana fueron incorporados en la formación la variedad local Francés Largo. El presente trabajo tiene como objetivo determinar el comportamiento de los últimos cultivares generados localmente por los Programas de maíz de la región.

MATERIALES Y METODOS

Once variedades de polinización abierta de maíz fueron utilizadas para la presente evaluación (Cuadro 1) (Navarro y Ortiz, 1992). Las entradas fueron evaluadas en cinco localidades, tres en la República

Dominicana (San Juan de la Maguana, Azua y Baní), una en Panamá (El Ejido) y una en Guatemala (Cuyuta). En cada localidad los cultivares fueron dispuestos en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La parcela útil constó de 2 surcos de 5 m de largo a 0.8 m entre sí. Para el análisis de los datos se utilizó un arreglo factorial de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los factores considerados fueron localidades y variedades.

Cuadro 1. Cultivares evaluados en 5 localidades en 1994.

Variedad	Origen
1. CESDA-88	Pob. 24,26 y 28 x Francés Largo
2. UNPHU-301C	Across 7728 x Francés Largo
3. Francés Largo	Variedad Local
4. UNPHU-304C	NB-6 x CESDA-88
5. UNPHU-305C	UNPHU-301C x UNPHU-304C
6. CESDA-36	Sint. Pob. 36 C4
7. Loyola-86	Pob. 24,26 y 28 x Francés Largo
8. Pob. 28	CIMMYT
9. Pob. 26	CIMMYT
10. Pob. 24	CIMMYT
11. NB-6	Nicaragua

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico se presenta en el Cuadro 2. Se detectaron diferencias estadísticas entre las variedades para todas las variedades evaluadas. En el análisis sólo nos concentraremos en el rendimiento en grano y su relación con la enfermedad achaparramiento del maíz.

La localidad de Baní de la República Dominicana presentó la media de rendimiento más alta de la localidades utilizadas, siendo Cuyuta en Guatemala la de menor rendimiento. Se detectó interacción de las variedades con el ambiente ($P < 0.09$). Se puede destacar en el Cuadro 4 que UNPHU-304C es de las variedades más rendidoras, comprobando resultados obtenidos por Ortiz et al. (1993) y concuerda con un estudio de dialelo de variedades amarillas dominicanas de Ortiz et al. (1995). La variedad local Francés Largo, junto a la variedad de la población 24 del CIMMYT, obtuvieron las medias de rendimiento más bajas a través de las localidades evaluadas.

¹ Mejoradores, Programa de Maíz CESDA. San Cristóbal, República Dominicana.

El mejoramiento para reducir el achaparramiento ha sido exitoso, esto puede ser notado si son comparadas (Cuadro 4), las variedades mejoradas (UNPHU-301C, UNPHU-304C, UNPHU-305C, CESDA-36, Loyola-86 y CESDA-88) con Francés Largo, variedad con buena tolerancia, pero bajo rendimiento de grano. Un análisis de regresión simple fue utilizado para explicar como la enfermedad afecta el rendimiento. La ecuación lineal $Y=5.73-0.09x^{**}$, fue obtenida a partir de las medias de ambas variables. Esto significa, en promedio, que cada planta afectada con achaparramiento reduce el rendimiento en 90 gramos.

CONCLUSIONES

1. Las variedades UNPHU-304C, CESDA-36 y UNPHU-305C, de los programas Dominicanos de maíz tienen muy buen comportamiento.
2. Se ha logrado avance en el mejoramiento para tolerancia contra el achaparramiento. Las variedades locales UNPHU-304C, UNPHU-305C, CESDA-36, CESDA-88 y Loyola-86, se comportaron similar al testigo Francés Largo, con buen grado de tolerancia al achaparramiento pero de bajo rendimiento.

Cuadro 2. Cuadrados medios de algunas de las variables evaluadas en diferentes ambientes 1994.

Fuente	Rend t/ha	Flor Días	Alt Plta cms	Alt Mzca cms	Achap # Pltas
Repetición	2.8*	0.1	94.3	332.9	42.33
Localidad	28.3**	102.8**	6311.4**	6583.7**	
Variedades	4.2**	13.1**	853.3**	719.6**	33.96*
Loc.xVar.	0.7***	2.9**	208.3ns	116.4ns	
Error	0.5	0.3	167.6	91.5	12.48
Coef. Var.	16.5%	1.0%	5.9%	8.8	21.90
Media General	4.3	55	221.0	109	16.00

Cuadro 3. Medias de variables evaluadas a través de localidades en 1994.

Variable	San Juan	Baní	Azua	Guatemala	Panamá
Rend. (t/ha)	3.69	5.50	4.61	3.50	4.05
Floración (días)	-	53		55	56
Alt. Plantas (cms)	204	229		223	229
Alt. Mazorca (cms)	95	103		116	122

Cuadro 4. Medias de algunas de las variables evaluadas en diferentes ambientes en 1994.

Variedades	Rend. (t/ha)	Flor (días)	Alt. Plta (cms)	Alt. Mzca (cms)	Achap (# Pltas)
UNPHU-304C	4.92	54	219	111	14
CESDA-36	4.69	54	215	103	14
UNPHU-305C	4.58	56	227	116	14
NB-6	4.53	55	209	101	12
CESDA-88	4.47	53	224	107	16
Loyola-86	4.42	55	232	119	16
Pob. 26	4.25	54	220	105	16
UNPHU-301C	4.16	55	222	113	20
Pob. 28	4.00	55	226	111	22
Pob. 24	3.59	55	210	99	19
Francés L	3.40	53	229	116	16
DMS $\alpha=0.05$	0.44	0.5	9	7	5

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Víctor Landa (CIAS, San Juan de la Maguana), Ing. Jeovanny Medina (Estación El Escondido, Bani), Alcibiades Carrasco (CIAZA, Azua), Dr. Salvador Castellanos (ICTA, Guatemala) e Ing. Daniel Pérez (IDIAP, Panamá); las cuales contribuyeron al éxito de este estudio.

REFERENCIAS

Navarro, F., R. Pérez, B.L. Renfro. 1987. Avances en el mejoramiento del maíz por resistencia al achaparramiento en República Dominicana. XXXIII Reunión Anual del PCCMCA, Guatemala, Guatemala, C.A.

Grogan, C.O. y E.E. Rosekranz. 1968. Genetics of host reaction to corn stunt virus. *Crop Sci.* 8:251-254.

Ortiz, J., F. Navarro, R. Celado, R. Pierre, y F. Guerra. 1993. Evaluación y mejoramiento de cultivares amarillos de maíz (*zea mays* L.) para achaparramiento. Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, vol.4 (1993):82-84.

Navarro, F. y J. Ortiz. 1992. Caracterización de cultivares de maíz dominicanos. XXVIII Reunión Sociedad Caribeña de Cultivos Alimenticios 28:344-362.

Ortiz, J., F. Navarro y P. Comalat. 1995. Dialcilo de variedades dominicanas de maíz. Presentado en la XLI Reunión Anual del PCCMCA celebrado en Tegucigalpa, Honduras del 26 de Marzo al 2 de Abril de 1995.

Secretaría de estado de Agricultura. Plan Operativo 1994. Secretaría de Estado de Agricultura, Los Jardines, Santo Domingo, Rep. Dom.

Evaluación en Cuba de Híbridos de Maíz de Grano Amarillo

Cecilio Torres¹, Ernesto Benítez² y Eduardo Rodríguez²

RESUMEN

Este trabajo reporta una evaluación de 22 híbridos en la estación experimental El Tomaguán, con el objetivo de identificar los materiales superiores para la época de primavera en Cuba. Se utilizó un látice simple con 4 réplicas. El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Varios materiales rindieron más que el testigo HS-46, que rindió 5.74 t/ha. El testigo nacional CUB T-4 rindió 7.55 t/ha, y solamente dos híbridos lo igualaron estadísticamente. En base a estos resultados, se recomienda formar dos híbridos dobles (1409 x 1404) x (1403 x 1402) y (1409 x 1404) x (1401 x 1402). El rendimiento de estos híbridos fue de 6.54 y 6.79 t/ha, respectivamente, superior al testigo regional y a la media general del ensayo.

El mejoramiento del maíz mediante la hibridación y la selección poblacional se inició en Cuba en el año 1936, contando el país en la actualidad con germoplasma mejorado de alto valor genético, así como, con híbridos y variedades de polinización libre (VPL) que cuentan con prestigio internacional por su adaptación, rendimiento y estabilidad a nivel regional y nacional. Una vía para lograr mayores en la obtención de germoplasma mejorado, de híbridos y variedades con características de resistencia o tolerancia a enfermedades, sequía o humedad limitada, precocidad, etc, la constituye la colaboración existente hace varios años con el Programa Regional de Maíz (PRM) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) de México. Los objetivos son identificar por su adaptación y rendimiento los mejores híbridos predichos en las condiciones de cultivo de la época de siembra de primavera, de lluvia o temporal.

Los efectos de la acción por épocas de siembra contrastantes se manifiestan en las siembras de maíz en Cuba, en caracteres tales como el rendimiento en grano y otros de importancia agronómica como son los días a la floración, altura de la planta, incidencia de acame, enfermedades y otros (Torres, 1991). En el período

lluvioso o de primavera cuando las plantas crecen bajo condiciones de abundantes precipitaciones, altas temperaturas diurnas y nocturnas y de días de horas luz más largos, se registra un ritmo de crecimiento más rápido, lo cual se evidencia por un número menor de días hasta la floración, una mayor altura de la planta, mayor incidencia de enfermedades y acame y una disminución del rendimiento en grano desde 0.8 hasta 3.5 t/ha (Torres, 1976; Torres y Betancourt, 1979). En general la productividad de los híbridos y las variedades cultivadas durante la época de siembra de primavera representa sólo el 69% en comparación con la época de frío o de seca con regadío. En la actualidad, con los nuevos híbridos y variedades de polinización libre, se puede lograr en primavera el 78% de la productividad en la época de frío (Torres et al., 1991).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 22 híbridos predichos de maíz de grano amarillo generados por el PRM y se utilizaron 3 testigos ICTA, HA 46, ICTA Exp. 9122 y CUB T-4. El diseño estadístico fue un látice simple 5 x 5 con cuatro réplicas con unidad experimental de dos surcos de 5 m de largo espaciados 0.90 m entre surcos con un área de 9 m² y 40 plantas en la parcela para una densidad de población de 4.44 plantas/m². La siembra se realizó con preparación convencional del suelo y niveles de fertilización de 120 kg N/ha, 90 kg P₂O₅/ha y 80 kg K₂O/ha. Para garantizar una germinación uniforme se contó con el apoyo del riego, así como cuando no llovió durante el desarrollo del cultivo.

El experimento se estableció en la Estación de Granos El Tomaguán, Alquizar, en un suelo ferralítico rojo hidratado (oxisol) a 50 msnm. El experimento se sembró en Abril de 1994 efectuándose la cosecha en Agosto del mismo año. La relación de las entradas del ensayo se presentan en el Cuadro 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas en rendimiento para las entradas del ensayo. El híbrido CUB T-4 (testigo nacional) y dos de los 22 híbridos predichos mostraron

¹Coordinador del Programa de Maíz, ²Técnicos de Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliána Dimitrova.

Cuadro 1. Entradas y su origen. híbridos predichos de grano amarillo (prm) 1993.

Entrada	Origen Cuy-93A
1	701 X 723
2	702 X 736
3	704 X 723
4	706 X 723
5	708 X 723
6	708 X 736
7	709 X 719
8	717 X 723
9	717 X 736
10	720 X 736
11	721 X 702
12	723 X 702
13	723 X 719
14	724 X 702
15	726 X 723
16	727 X 702
17	734 X 723
18	736 X 721
19	702 X 904
20	719 X 904
21	723 X 903
22	716 X 736
23	ICTA HA-46
24	ICTA EXP. 9122
25	TESTIGO LOCAL CUB T-4

diferencias estadísticamente significativas del resto de los 20 híbridos que no difirieron entre sí en rendimiento (Cuadro 4). La media de rendimiento fue de 6.07 t/ha y solamente 9 híbridos predichos fueron capaces de rendir por encima de la media general (Cuadro 3). Asimismo, sólo 16 híbridos predichos (en 4-18%) superaron al testigo regional HA 46, que rindió 5.74 t/ha (Cuadro 3).

Los días a floración masculina fluctuaron de 48 a 53 días, con una media de 50 días. La precocidad es una característica deseable, si consideramos que otros cultivares típicamente florecen a los 60 días en esta época del año. También se observó una altura de planta y mazorca promedio de 262 y 117 cm, respectivamente (Cuadro 4).

En los componentes del rendimiento, se pueden apreciar resultados que concuerdan con los presentados por Bolaños y Barreto (1991). En dichos componentes las medias del experimento fueron de 4.39 plantas y 4.66 mazorcas por metro cuadrado con una producción de 1.06 mazorcas por planta y un peso medio del grano de 131 g (Cuadro 4). El acame de tallo fue moderado tomando en cuenta la época del año, donde con frecuencia ocurren tormentas lo que produce mucho acame. Fueron tolerantes los cultivares con menos de 15% de acame de tallo en el ensayo y en cuanto al aspecto de planta, mazorca y calificación a enfermedades se observó un comportamiento satisfactorio (Cuadro 4).

Cuadro 2. Análisis de varianza de la variable rendimiento en grano de los híbridos predichos y sus testigos, 1994.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Prob.
Rep	3	16515197.48	5505068.827	11.43	0
Entradas	24	22220900.16	925870.840	1.92	0.017
Error	72	34691777.52	481830.243		

Cuadro 3. Genealogía de los mejores híbridos de maíz de grano amarillo, 1994.

Ent	Generalogía	Rend kg/ha	% sore HA- 46
1	(1401 X 1402) (1404 X 1409)	6788	118
5	(1402 X 1403) (1404 X 1409)	6543	114
16	(1405 X 1409) (1401 X 1403)	6426	112
18	(1401 X 1403) (1404 X 1405)	6394	111
22	(1403 X 1404) (1409 X 1411)	6388	111
13	(1404 X 1409) (1403 X 1411)	6255	111
21	(1404 X 1409) (1403)	6241	109
2	(1401 X 1403) (1409 X 1411)	6200	109
20	(1403 X 1411) (1404)	6177	109

CONCLUSIONES

1. Se identificaron dos híbridos dobles con buena adaptación, rendimiento y características agronómicas para la época de primavera, lluvia o temporal en Cuba.
2. Se recomienda la producción de semilla de estos híbridos dobles para hacer un estudio a nivel regional y nacional de la estabilidad del rendimiento en diferentes ambientes.

Cuadro 4. Rendimiento de grano y características agronómicas de 22 híbridos de maíz de grano amarillo 1994.

Ent	Rend kg/ha	Días a flor	Altura (cms)		Pita m ²	Mzca m ²	Peso grano	Mzca pita	Aspecto		Ace tallo	% sobre testigos	
			pita	mzca.					pita	mzca		HA 46	CUB. T4
25	7547 A	52	265	129	4.25	5.69	149.93	1.04	1.00	1.50	12.5	131	100
1	6788 AB	52	268	116	4.33	4.59	147.95	1.06	1.00	1.50	9.7	118	90
5	6543 ABC	50	258	119	4.08	4.61	141.85	1.13	1.00	1.25	7.5	114	87
16	6426 BCD	51	267	104	4.36	4.78	134.23	1.10	1.00	1.25	2.5	112	85
18	6394 BCD	51	270	128	4.61	4.78	135.25	1.04	1.00	1.50	6.5	111	85
22	6388 BCD	50	270	124	4.55	4.74	135.13	1.04	1.00	1.75	6.0	111	85
13	6255 BCD	51	263	121	4.50	5.00	125.68	1.11	1.00	2.25	24.7	111	85
21	6241 BCD	50	255	111	4.30	4.67	133.30	1.08	1.00	1.75	8.7	109	83
2	6200 BCD	50	257	120	4.47	4.70	131.85	1.05	1.00	1.25	10.5	109	83
20	6177 BCD	50	265	119	4.39	4.67	135.25	1.07	1.00	1.25	21.7	109	83
6	6033 BCD	50	253	109	4.47	4.67	129.23	1.04	1.00	2.00	17.0	108	80
24	6032 BCD	51	261	120	4.22	4.19	143.93	1.00	1.00	1.50	8.5	108	80
12	6021 BCD	52	275	131	4.53	4.72	127.35	1.05	1.00	1.75	14.0	108	80
7	6020 BCD	50	265	116	4.75	4.75	127.47	1.00	1.25	2.00	15.0	108	80
3	6016 BCD	51	267	123	4.28	4.58	129.60	1.07	1.00	2.00	12.7	108	80
11	5960 BCD	50	262	109	4.41	4.50	132.27	1.03	1.00	1.50	12.2	104	79
9	5957 BCD	50	257	110	4.36	4.75	125.40	1.10	1.25	2.50	11.7	104	79
10	5817 BCD	48	246	108	4.47	4.58	127.65	1.08	1.25	2.25	23.0	101	79
23	5742 BCD	48	255	111	4.44	4.53	126.75	1.02	1.00	2.00	6.5	100	77
17	5720 BCD	52	278	136	4.41	4.55	125.90	1.03	1.00	1.25	2.0	99	77
8	5719 BCD	52	271	123	4.36	4.33	131.73	1.00	1.00	2.50	23.5	99	77
4	5506 CD	50	267	116	4.47	4.30	127.68	1.05	1.00	1.75	19.5	95	73
19	5432 CD	50	260	113	4.44	4.64	116.78	1.11	1.00	1.75	23.7	95	72
14	5383 CD	53	257	104	4.41	4.58	117.10	1.04	1.00	2.25	25.5	93	69
15	5321 D	51	250	116	4.36	4.64	114.95	1.06	1.00	2.25	25.2	93	69
X	6065	50	262	117	4.39	4.66	130.84	1.05	1.05	1.79	14.75		
C.V.	11.44	1.81	3.68	10.54	6.59	12.3	9.59	6.72	6.72	40.3	88.82		
L.S.D	978.4	1.29	13.64	17.44	0.41	0.81	17.89						

REFERENCIAS

Bolaños, J. y H. J. Barreto 1991. Análisis de componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz de 1990. Programa Regional de Maíz para Centroamérica y el Caribe. PRM Guatemala C. A. p 9-25.

Bolaños, J. 1992. Bases fisiológicas del progreso genético en cultivares del PRM. Síntesis de resultados experimentales 1992. Programa Regional de Maíz para Centroamérica y el Caribe. PRM. Guatemala C. A. p 11-19.

Llanos, M. 1984. El maíz su cultivo y aprovechamiento Ed. Mudi-Prensa. Madrid 318 p Márquez S. F. 1988. Genotecnia vegetal Tomo II A. G. T. Editor S. A. México PP. 1-343.

Torres, C. M. 1976 En Resultados obtenidos en la producción experimental del maíz para Cuba I. Informe

preliminar. Cien Tecn. Agrícola, Viandas, Hortalizas y Granos. Vol 2 No. 1 La Habana Cuba.

Torres, C. M et al. 1991. Evaluación del rendimiento de híbridos dobles formado con líneas de maíz (*Zea mays* L.) de Cuba y Guatemala Memoria de la XXXVIII. Reunión Anual del PCCMCA. 1992. Managua Nicaragua. C. A. p. 22-31.

Torres, C. M. y A. Rodríguez 1992. Evaluación de las diferencias del rendimiento entre híbridos y variedades de maíz (*Zea mays* L.) en Cuba. Síntesis de resultados experimentales 1992. Programa Regional de Maíz para Centroamérica y el Caribe PRM. Guatemala C. A. Op 44-46.

Vasal, S. K. et al. 1989. Desarrollo de híbridos no convencionales de maíz. Presentado en la XIII Reunión de Maiceros de la Zona Andina. Chiclayo, Perú. 1988.

Evaluación de Híbridos de Maíz (*Zea mays* L) de Grano Blanco y Amarillo en Ambientes de Centro América, Panamá y el Caribe

Leopoldo Pixley¹

RESUMEN

Los programas de mejoramiento genético de maíz en la región de Centro América y El Caribe constantemente generan híbridos experimentales con la meta final de proporcionárselos a los agricultores. El ensayo uniforme del PCCMCA evalúa anualmente más de 30 híbridos de grano blanco y amarillo a través de diversos ambientes de la región. El objetivo de este trabajo es conocer el comportamiento de estos genotipos y su interacción genotipo-ambiente. En 1994 se evaluaron 21 genotipos de grano blanco en 10 ambientes y 22 genotipos de grano amarillo en 11 ambientes. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones y se cuantificó la interacción genotipo ambiente con el análisis de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (modelo AMMI). Los híbridos blancos que menos interactuaron con el ambiente fueron SEMESA-470 y 481 y XB-1112 y 1114 con puntajes cercanos a cero (-0.047, -0.052, -0.003 y -0.017, respectivamente), pero no superaron en rendimiento al testigo. Los híbridos amarillos de mayor estabilidad fueron XA-1008 y el 3018 con puntajes de -0.033 y 0.053, respectivamente, y tampoco superaron en rendimiento al testigo. El híbrido de grano blanco que tuvo mayor interacción con el ambiente fue el HC-57 y el de grano amarillo fue Cub.T-91. Los híbridos blancos que tuvieron los mejores comportamientos fueron el H-53 con 5.32 t/ha y el 3001W con 5.60 t/ha, respectivamente. Para los de grano amarillos, fueron el 27x28 e ICTA HE-9122 con 5.79 y 5.83 t/ha, respectivamente; ambos del PRM.

La producción de maíz en la región Centroamericana y el Caribe se desarrolla en una gran diversidad de ambientes contrastantes que provocan en muchos casos bajos rendimientos. Con la finalidad de obtener cultivares de maíz estables y rendimiento aceptable, los programas nacionales de la región y las compañías privadas nacionales y extranjeras evalúan el comportamiento de sus variedades e híbridos comerciales y experimentales en ensayos uniformes del PCCMCA los cuales son sembrados en un amplio rango de ambientes en la región. La información de estos ensayos permiten la toma de decisiones en la selección

de cultivares adecuados a la circunstancia de cada país por parte de los programas nacionales, compañías privadas, instituciones internacionales, mejoradores, técnicos y agricultores. Este es el cuarto año consecutivo que se siembran dos juegos de ensayos, uno de grano blanco y otro de grano amarillo. Le correspondió a Costa Rica preparar los ensayos y presentar el informe de los resultados de 1994.

Los objetivos del trabajo son evaluar el rendimiento de grano, características agronómicas, y la adaptación de híbridos blancos y amarillos generados por los programas nacionales y compañías privadas de semilla, a través de diversos ambientes de Centro América, Panamá y el Caribe. Otro objetivo es determinar la interacción genotipo x ambiente de los híbridos para identificar los materiales superiores con buena estabilidad de rendimiento.

Quemé (1992) señala que los híbridos blancos HB-85, CB-XHS-507, H-53 y MAX-397 fueron los más estables del ensayo del PCCMCA de 1991, superando al testigo HB-83M y a la media general del ensayo. El mismo autor identificó los híbridos amarillos EXP-9122, 3078, HC-78 y H-104, los cuales superaron al testigo HA-45. Urbina (1993) determinó que los híbridos blancos H-53, HS-5GM y 1402CW, CB-XHS-511 y HN-913 superaron en rendimiento al testigo HB-83 en los ensayos uniformes del PCCMCA en 1992. El mismo autor señala que la estabilidad fue menor en los híbridos amarillos que en los blancos ya que únicamente el HA-55 y T-9 presentaron puntuaciones AMMI cercanas a cero, pero sus rendimientos fueron inferiores al promedio global de los híbridos evaluados. Los híbridos amarillos XL-380 y HR-12 rindieron más que el testigo HA-46 y la magnitud de su interacción con el ambiente fue relativamente baja, por lo que parecen promisorios.

Alvarado et al. (1994), señalan que los mejores híbridos amarillos fueron el EXP-9122 y CubT-4, los cuales superaron en rendimiento al testigo HA-46 con valores AMMI cercanos a cero, lo cual los identifica como cultivares con baja interacción con el ambiente, en el ensayo uniforme del PCCMCA en 1993. Los mejores híbridos blancos fueron HS-7GM y HB30, los cuales superaron en rendimiento al testigo HB-83 y con valores AMMI cercanos a cero.

¹Fitomejorador, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

En 1994 el ensayo uniforme de maíz del PCCMCA de grano blanco tuvo 21 cultivares (Cuadro 1) y el amarillo tuvo 22 cultivares (Cuadro 2) generados por los programas nacionales y compañías privadas productoras de semilla. Los ensayos fueron enviados a Centro América, Panamá, República Dominicana y Cuba. Se analizó información de 10 localidades para grano blanco y 12 localidades para grano amarillo.

Para los dos ensayos se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones, sembrándose 2 surcos de 5 m de largo por unidad experimental a una densidad de 5.33 plantas/m². Se registraron las variables días a floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca, acame de raíz y tallo, mazorcas descubiertas, aspecto de mazorca, enfermedades foliares y de la mazorca, peso de campo de mazorca y porcentaje de humedad del grano. El rendimiento de campo de mazorca se transformó a rendimiento de grano al 15% de humedad. En las localidades donde influyó el número de plantas cosechadas se realizó un ajuste por análisis de covarianza.

En ambos experimentos se realizó análisis de varianza por localidad y combinado para rendimiento. Se calculó la diferencia mínima significativa (DMS) al 5%. Para medir la interacción genotipo-ambiente se efectuó el análisis de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (modelo AMMI) (Crossa et al., 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo de Híbridos de Grano Blanco

El Cuadro 3 presenta los resultados para rendimiento. El cuadrado medio de los cultivares señala una relativamente alta variabilidad de éstos en las localidades de Cuyuta, León, Cañas y Omonita. Las localidades San Jerónimo, Omonita y Cañas tuvieron altos rendimientos (8.3, 5.6 y 6.4 t/ha, respectivamente). El CV para las estas localidades fue de los más bajos, lo que indica buen equilibrio entre sus componentes.

El Cuadro 4 contiene el análisis AMMI para rendimiento de los híbridos evaluados y las localidades en donde se hicieron las pruebas. Las fuentes de variación de localidades, genotipos y la interacción de estas dos variables fueron significativas ($P < 0.01$), indicando alta variabilidad, lo que permite diferenciar entre los componentes de cada una. Para una mejor interpretación de la interacción genotipo-ambiente, ésta

se subdivide en efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (Eje 1 y Eje 2). No se utilizan más ejes porque los efectos son cada vez más pequeños y de menor importancia. Estos dos componentes principales representan el 56% de la suma de los cuadrados de la interacción genotipo-ambiente y el 30% del grado de libertad. Como el PCA1 representa el 35% de la suma de cuadrados de la interacción que nos ocupa, este es el que ayuda más en la predicción del efecto de interacción e indica que hubo un considerable grado de interacción entre genotipos y ambientes.

El Cuadro 5, tiene los valores del comportamiento de los cultivares y los ambientes con respecto al rendimiento asociado al puntaje del EJE 1. Los híbridos de mayor estabilidad fueron SEMESA-470 y 481 y XB-1112 y 1114 con puntuaciones cercanos a cero (-0.047, -0.052, -0.03 y -0.017, respectivamente), de ellos SEMESA-481 tuvo el mejor rendimiento (4.2 t/ha). El híbrido 3001W tuvo buena estabilidad (puntaje 0.129) y un buen rendimiento (5.6 t/ha). De los cinco híbridos más estables (poca interacción con el medio ambiente) este es el único que superó al testigo en rendimiento (HB-85 con 4.5 t/ha). El híbrido HC-57 fue el que más interacción tuvo con la localidad, de manera que se interpreta que se adapta bien a ambientes de buena producción, ya que su rendimiento fue relativamente bueno. Los ambientes que mostraron los menores valores de interacción con los genotipos fueron Las Vegas y Guápiles (-0.081 y 0.098, respectivamente). Estos ambientes son de adaptación amplia con respecto a los genotipos; pueden servir para introducir materiales exóticos o sea son los ambientes denominados neutros. Los ambientes San Jerónimo y León (-1.438 y 1.184, respectivamente) fueron los que tuvieron la mayor interacción con los cultivares, de manera que permiten adaptaciones específicas.

La Figura 1 muestra los genotipos más estables con una agrupación horizontal, lo que indica que son de adaptación amplia. Los genotipos HC-57, SEMESA-1512 y A 7597 son de adaptación específica.

Ensayo de Híbridos de Grano Amarillo

El Cuadro 6 presenta el análisis de varianza para rendimiento. El cuadrado medio de los cultivares señala una relativa alta variabilidad de estos en las localidades de San Jerónimo, Tomequín y Zamorano, respecto a la media. Las localidades de San Jerónimo, Parita y Zamorano tuvieron altos rendimientos. El CV para estas localidades son los más bajos.

Cuadro 1. Ensayo de Híbridos de Maíz de Grano Blanco del PCCMCA, 1994.

Ent	Híbrido	Institución	País
1	17x18	SRN	Honduras
2	13x14	SRN	Honduras
3	HC-57	UCR-MAG	Costa Rica
4	3001 W	Pioneer	USA
5	3005	Pioneer	USA
6	X-1403 CW	Pioneer	USA
7	HS-3G-M1	Cristiani Burkard	Guatemala
8	HS-5G M2	Cristiani Burkard	Guatemala
9	HS-7G M1	Cristiani Burkard	Guatemala
10	B-833	Dekalb	USA
11	P-9144	Dekalb	USA
12	SEMESA 470	SEMESA	México
13	SEMESA 481	SEMESA	México
14	SEMESA 1512	SEMESA	México
15	ICTA HB-83 M	ICTA	Guatemala
16	ICTA HB-85 (Testigo)	ICTA	Guatemala
17	XB-1112	Agrogen.Colombiana	Colombia
18	XB-1114	Agrogen.Colombiana	Colombia
19	A 7500	Asgrow	Guatemala
20	A 7520	Asgrow	Guatemala
21	A 7530	Asgrow	Guatemala
22	A 7597	Asgrow	Guatemala
23	H 53	CENTA	El Salvador

Cuadro 2. Ensayo de Híbridos de Maíz de Grano Amarillo del PCCMCA., 1994.

Ent	Híbrido	Institución	País
1	27x28	SRN	Honduras
2	29x30	SRN	Honduras
3	P-8812	IDIAP	Panamá
4	P-8916	IDIAP	Panamá
5	XL-380	Dekalb	USA
6	XL-604	Dekalb	USA
7	CS-9281	Dekalb	USA
8	AG-106	Agrocerec	Brasil
9	AG-122	Agrocerec	Brasil
10	AG-913	Agrocerec	Brasil
11	ICTA HE-9122	ICTA	Guatemala
12	ICTA HE-9126	ICTA	Guatemala
13	ICTA HA-46 (Testigo)	ICTA	Guatemala
14	3018	Pioneer	USA
15	Y-1404 F	Pioneer	USA
16	Y-1404 G	Pioneer	USA
17	Y-1404 H	Pioneer	Colombia
18	CUB. T-51	IHHL	Cuba
19	CUB. T-88	IHHL	Cuba
20	CUB. T-91	IHHL	Cuba
21	RD-663	CESDA	Rep. Dominicana
22	XA-1008	Agrogen.Colombiana	Colombia

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza para rendimiento de grano (t/ha) de la evaluación de híbridos de grano blanco en 10 localidades, PCCMCA, 1994.

Localidad	CM (Trat.)	Media	(%)
Cuyuta (Guatemala)	5.55 **	4.194	14
San Jerónimo (Guatemala)	1.20 **	8.242	11
Las Vegas (Guatemala)	1.89 **	3.419	21
Seminal (Guatemala)	1.34 n.s.	3.377	25
Sta Cruz Porrillo (El Salvador)	2.66 **	2.771	23
Omonita (Honduras)	4.81 **	5.573	9
León (Nicaragua)	5.70 **	2.652	22
Managua (Nicaragua)	2.28 **	2.804	23
Guápiles (Costa Rica)	2.10 **	3.040	17
Cañas (Costa Rica)	7.35 **	6.382	14
Combinado	20.48**	4.280	18
Int Loc x Trat	**		

El Cuadro 7 contiene el análisis AMMI para rendimiento de los híbridos evaluados y las localidades en donde se hicieron las pruebas, las fuentes de variación de localidades, genotipos y la interacción de estas variables fueron significativas ($P < 0.01$). Esto indica una alta variabilidad, lo que permite la diferenciación entre los componentes de cada uno. Para interpretar la interacción genotipo-ambiente, ésta se subdivide en efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas, PCA1 y PCA2. Estos dos componentes representan el 78% de la suma de cuadrados de la interacción y el 27%

de los grados de libertad. El Eje 1 representa el 66% de la suma de cuadrados de la interacción e indica que hubo un alto grado de interacción entre genotipos y medio ambientes.

El Cuadro 8 muestra el rendimiento de los cultivares y los ambientes asociado al puntaje PCA1. Los híbridos XA-1008 y 3018 tuvieron puntajes AMMI cercanos a cero (-0.033 y 0.053, respectivamente), de ellos el 3018 tuvo el mejor rendimiento (5.09 t/ha), aunque fue similar al testigo (5.1 t/ha). Los híbridos XL-380 e ICTA HE-9126 tuvieron buena estabilidad (0.186 y -0.116, respectivamente), pero solo el segundo tuvo rendimiento similar al testigo. Los híbridos CubT-91, Cub.T-51, AG-106 y Y1404H mostraron mayor interacción con el ambiente, (puntajes de -1.750, -1.534, 0.856 y 0.802, respectivamente). Los ambientes que mostraron menos interacción fueron Río Hato y Guatemala (0.008 y -0.172, respectivamente) y los ambientes de mayor interacción fueron San Jerónimo, Rep. Dominicana y Zamorano.

En la Figura 2 se muestran los genotipos de alta estabilidad agrupados horizontalmente o sea que son de adaptación amplia mientras que Cub.T-91 y AG-106 son de adaptación específica.

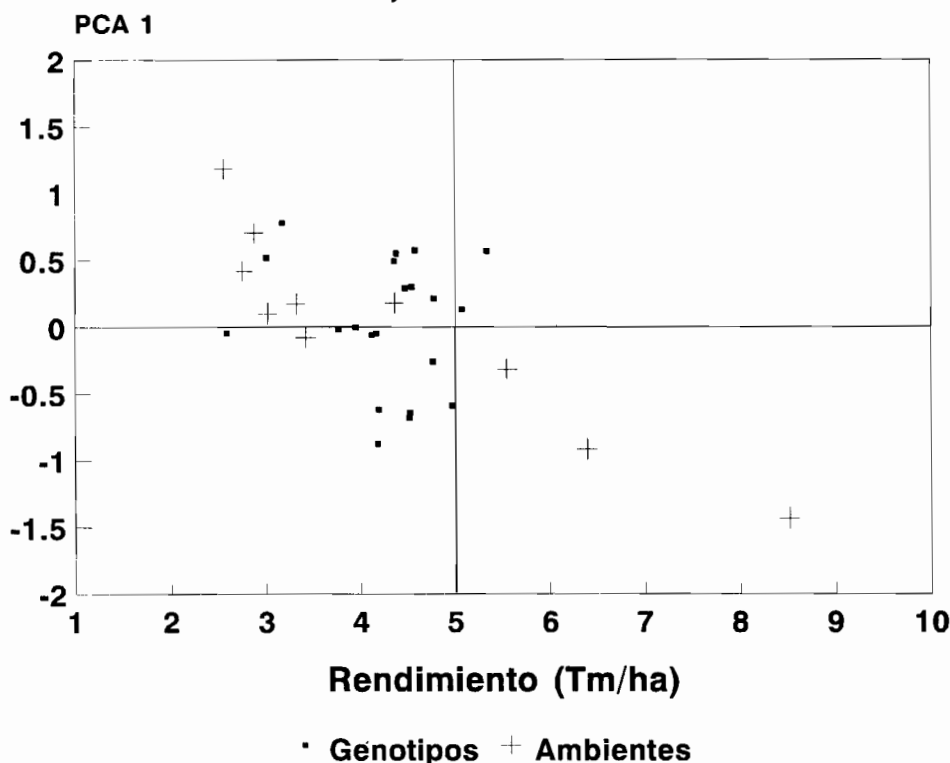


Figura 1. Diagrama de medias de rendimiento y puntuaciones del primer eje del componente principal de 21 híbridos de grano blanco y 10 ambientes. PCCMCA94

Cuadro 4. Análisis AMMI para rendimientos de 21 híbridos de grano blanco en 10 localidades, PCCMCA 1994.

Fuente	G.L.	SC	CM	Probabilidad
Ambiente	9	2902.86	3222.54	**
Bloque	30	56.51	1.88	**
Genotipo	20	410.21	20.51	**
Gen x Amb	180	298.42	1.66	**
PCA 1	28	106.04	3.79	**
PCA 2	26	63.03	2.42	**
Residual	126	129.35	1.03	**
Error	600	356.74	0.59	**
Total	839	4024.75	4.80	**

Cuadro 5. Puntuaciones para híbridos de grano blanco y ambientes del primer eje de interacción (AMMI). PCCMCA 1994.

Híbrido	Rend (t/ha) Prom.	Punt. AMMI	Ambientes	Rend (t/ha) Prom.	Punt. AMMI
17x18	4.37	0.559	Cuyuta	4.19	0.178
13x14	4.55	0.296	San Jerónimo	8.24	-1.438
HC-57	4.18	-0.879	Las Vegas	3.42	-0.081
3001 W	5.60	0.129	Seminal	3.38	0.169
3005	4.56	0.573	Sta Cruz Porrillo	2.77	0.413
X-1403 CW	4.75	-0.264	Omonita	5.57	-0.319
HS-3G M1	4.35	0.493	León	2.65	1.184
HS-5G M2	4.76	0.212	Managua	2.80	0.705
HS-7G M1	4.95	-0.594	Guápiles	3.04	0.098
SEMESA-470	2.58	-0.047	Cañas	6.38	-0.910
SEMESA-481	4.17	-0.052			
SEMESA-1512	3.17	0.779			
HB-83 M	4.46	0.288			
HB-85 (Testigo)	4.51	-0.644			
XB-1112	3.95	-0.003			
XB-1114	3.76	-0.017			
A-7500	4.11	-0.602			
A-7520	4.18	-0.624			
A-7530	3.00	0.518			
A-7597	4.52	-0.685			
H-53	5.32	0.565			

Cuadro 6. Resultados del análisis de varianza para rendimiento de grano (t/ha) de híbridos de grano amarillo en 11 localidades. PCCMCA 1994.

Localidad	CM (Trat.)	Media	(%)
Cuyuta (Guatemala)	2.15 **	4.23	10
San Jerónimo (Guatemala)	7.13 **	8.30	14
Las Vegas (Guatemala)	2.92 **	3.75	15
Managua (Nicaragua)	1.19 **	2.52	16
Río Hato (Panamá)	1.43 **	5.96	14
Parita (Panamá)	2.04 **	6.94	10
El Ejido (Panamá)	2.68 **	5.54	10
Tomequín (Cuba)	10.07 **	3.23	28
Baní (Rep. Dominicana)	4.22 **	4.45	32
Zamorano (Honduras)	5.95 **	6.94	14
Seminal (Guatemala)	0.88 n.s.	3.32	23
Combinado	11.41 **	6.02	17
Interacción Loc x Trat	**		

CV = Coeficiente de variación en porcentaje

NS = No significativo

** = Significativo a 0.01 de probabilidad

CM Trat. = Cuadrado medio de tratamiento

Cuadro 7. Análisis AMMI para rendimiento de 21 híbridos de grano amarillo en 11 localidades. PCCMCA 1994.

Fuente	G.L.	SC	CM	Probabilidad
Ambiente	10	2989.99	299.00	**
Bloque	33	68.84	2.09	**
Genotipo	21	240.04	11.43	**
Gen x Amb	210	617.75	2.94	**
PCA 1	30	410.02	13.67	**
PCA 2	28	75.03	2.68	**
Residual	152	132.70	0.87	*
Error	693	500.82	0.72	**
Total	967	4417.45	4.57	**

Cuadro 8. Puntuaciones para híbridos de grano amarillo y ambientes del primer eje de interacción (AMMI). PCCMCA 1994.

Híbrido	Rend (t/ha) Promedio	Puntuación AMMI	Ambientes	Rend (t/ha) Promedio	Puntuación AMMI
27x28	5.79	0.321	Cuyuta	4.23	0.432
29x30	5.16	0.247	San Jerónimo	8.30	1.339
P-8812	5.25	0.528	Las Vegas	3.74	0.484
P-8916	5.34	-0.318	Managua	2.52	-0.515
XL-380	4.61	0.186	Río Hato	5.96	0.008
XL-604	3.47	-0.409	Parita	6.94	0.288
CS-9281	4.72	0.795	El Ejido	5.54	0.535
AG-106	4.74	0.856	Tomeguín	3.23	-2.327
AG-122	5.24	0.603	Baní	4.45	-0.992
AG-913	5.16	0.242	Zamorano	6.94	0.919
HE-9122	5.83	0.352	Seminal	3.32	-0.172
HE-9126	5.07	-0.116			
HA-46 (Testigo)	4.94	-0.385			
3018	5.09	0.053			
Y-1404 F	5.11	0.521			
Y-1404 G	5.35	0.310			
Y-1404 H	5.19	0.802			
CUB. T-51	4.55	-1.534			
CUB. T-88	5.37	-0.461			
CUB. T-91	4.54	-1.750			
RD-663	5.48	-0.811			
XA-1008	4.48	0.033			

CONCLUSIONES

1. Ambos grupos de híbridos tuvieron un comportamiento productivo similar, aunque los amarillos fueron levemente superiores.

2. Ambos grupos tuvieron genotipos con puntuaciones cercanos a cero (baja interacción con el ambiente) en números parecidos (4 blancos vs 2 amarillos).

3. Para ambos grupos fueron pocos los cultivares que superaron al testigo (2 blancos vs 2 amarillos).

4. Los híbridos blancos que tuvieron los mejores comportamientos productivos fueron uno del PRM y uno de la empresa privada. En caso de los amarillos, los dos mejores materiales fueron del PRM. Esto indica que los programas nacionales han tenido un importante avance en el mejoramiento de genotipos.

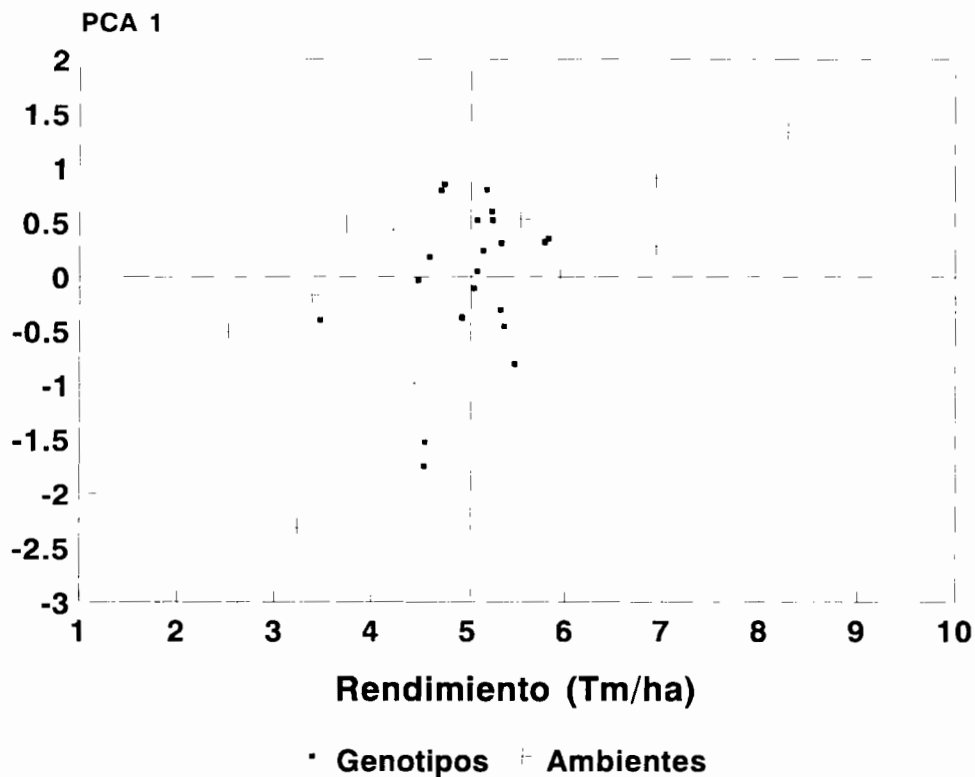


Figura 2. Diagrama de medias de rendimiento y puntuaciones del primer eje del componente principal de 21 híbridos de grano amarillo y 11 ambientes. PCCMCA94

RECONOCIMIENTO

El presente informe es producto de un trabajo cooperativo en el cual han participado entidades e instituciones de Centro América, Panamá, El Caribe y México, quienes al igual que en otros años han participado con gran profesionalismo. Panamá: Alfonso Alvarado, Daniel Pérez (IDIAP), Costa Rica: Arnoldo Vargas, Carlos Calderón (MAG), Nicaragua: Rafael Obando, Lázaro Narváez (INTA), Honduras: Luis Brizuela, Oscar Cruz (SRN), Francisco Gómez (El Zamorano), El Salvador: Fidencio Guerra, (CENTA), Guatemala: Carlos Pérez, José Luis Quemé, Luis Larios (ICTA), Salvador Castellanos (CRISTIANI BURKARD), René Velázquez (SEMINAL), Cuba: Marcos Torres (IHLD), Rep. Dominicana: Ramón Celado, (CESDA), CIMMYT: Jorge Bolaños (Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe).

REFERENCIAS

Alvarado, A., I. Camargo B. y R. Gordón. 1994. Evaluación de Híbridos de Maíz (*Zea mays* L.) de Grano Blanco y Amarillo, en Ambientes de Centroamérica, Panamá y El Caribe. Informe PCCMCA 1994. Panamá, 37 p.

Córdova, H.S. 1989. Evaluación de 36 cultivares de maíz en 20 ambientes de Centro América, Panamá y El Caribe, PCCMCA 1988. Presentado en la XXXV Reunión Anual del PCCMCA, San Pedro Sula, Honduras.

Crossa, J.; H.G. Gauch Jr. y R.W. Zobel. 1988. Estimación estadística predictiva de rendimiento en ensayos de variedades. In Simposio "Modelos de Estabilidad para Evaluar la Adaptación de Cultivares. XXXIV Reunión Anual del PCCMCA, San José, Costa Rica.

Marquez, S.F. 1976. El problema de la interacción genético-ambiental en genotecnia vegetal. Ed. Patena, A.C. Universidad Autónoma, Chapingo, México. 113p.

Quemé, J.L.; M.R. Fuentes. 1992. Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y amarillo, en diferentes ambientes de México, Centro América, El Caribe y Venezuela. Informe PCCMCA 1992 PRM-ICTA, Guatemala, C.A. 61p.

Urbina, R. 1993. Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y amarillo en ambientes de Centro América, Panamá, el Caribe y México. Informe PCCMCA 1993. Guatemala C.A. 60 p.

Evaluación de Híbridos de Maíz (*Zea mays* L) de Grano Blanco y Amarillo en Ambientes de Centroamérica, Panamá y El Caribe

Luis Brizuela¹

RESUMEN

La generación de germoplasma ha sido uno de los logros de mayor relevancia del Programa Regional de Maíz (PRM) y las empresas privadas que desarrollan investigación en la región. En los ensayos uniformes del PCCMCA se evaluaron híbridos de grano blanco y amarillo a través de más de 30 ambientes en la región. El objetivo de este estudio es obtener información sobre el comportamiento de los híbridos y su interacción con los ambientes del área. Durante 1995 se evaluaron 30 híbridos blancos bajo un diseño de látice rectangular 6 x 5 con 3 repeticiones y 14 híbridos de grano amarillo bajo un diseño de BCA con 3 repeticiones. Se realizó análisis de varianza por localidad, combinado y se utilizó el modelo de efectos principales aditivos e interacciones mutiplicativas (AMMI) para determinar la interacción genotipo x ambiente. Los híbridos Pioneer 1394BN y CBHS-7GM1 fueron superiores al testigo HB-83 (4.76 t/ha) en 4 y 3.5%, respectivamente con puntuaciones AMMI cercanas a cero. El comportamiento de los híbridos blancos fue similar en las localidades de San Jerónimo, Cuyuta y EAP, ya que no se encontró significancia estadística. En los materiales amarillos no hubo respuesta en Lepaguare, Cuyuta y La Máquina. Sin embargo, el análisis AMMI encontró alta significancia en todas las fuentes de variación. Los híbridos amarillos más estables fueron HE-9126, P-8916, P-8812 y DK-999 con rendimientos superiores al testigo (HA-46 con 3.75 t/ha) en 17.8, 18.6, 22.6 y 27.2%, respectivamente. El híbrido DK-888 superó al testigo en 38.14%.

El cultivo del maíz en la región de Centro América y El Caribe, ocupa el primer lugar de acuerdo al área de producción y a la importancia como producto de consumo humano y en la elaboración de concentrados para la alimentación animal. Este grano se produce en una gran diversidad de ambientes contrastantes que inducen en muchas ocasiones muy baja productividad en el cultivo. A pesar de tres décadas de investigación ejecutados por los Programas Nacionales en el desarrollo de germoplasma mejorado, todavía se obtienen muy

bajos rendimientos consecuencia de factores climáticos (mala distribución de las lluvias), poca fertilidad de suelos, manejo agronómico deficiente y ausencia del material genético mejor adecuado.

Debido a las limitaciones que se tienen en la disponibilidad de cultivares con alto potencial de rendimiento y con muy buena estabilidad el Programa Regional de Maíz (PRM), con la colaboración de las compañías privadas todos los años promueven los híbridos nuevos en los ensayos uniformes del PCCMCA ya que es un mecanismo apropiado para que tanto los Programas Nacionales como las compañías privadas puedan poner a disposición su semilla en manos de los productores de maíz.

Los objetivos de este trabajo son obtener información sobre los híbridos blancos y amarillos, determinar su adaptación y estabilidad, identificar híbridos superiores, y entregar y difundir la información generada a todos los programas nacionales, compañías privadas, y productores de semilla para que sirva de base en la toma de decisiones en la industria de semilla de la región.

Alvarado et al. (1994) señalan que los mejores híbridos amarillos fueron el EXP-9122 y CUBT-4, los cuales superaron en rendimiento al testigo HA-46 y tuvieron valores AMMI cercanos a cero, lo cual los identifica como cultivares con baja interacción con el ambiente. Los mejores híbridos blancos fueron HS-7GM Y HB30, los cuales superaron en rendimiento al testigo HB-83 y tuvieron valores AMMI cercanos a cero. Los mejores híbridos amarillos y blancos además de tener buen rendimiento y poca interacción con el ambiente presentaron adecuadas características agronómicas.

Pixley (1995) encontró que los híbridos de mayor estabilidad fueron SEMESA-470, 481 y XB-1112, con puntajes AMMI cercanos a cero. Los híbridos amarillos XA-1008 y 3018 mostraron buena estabilidad con puntajes cercanos a cero.

¹Coordinador del Programa de Maíz del DICTA, San Pedro Sula, Honduras

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos uniformes del PCCMCA de 1995 se formaron con 30 híbridos de grano blanco (Cuadro 1) y

14 cultivares amarillos (Cuadro 2) generados por los programas nacionales y compañías privadas productoras de semilla. Se prepararon 15 ensayos de híbridos blancos y 17 amarillos, pero al momento de preparar el reporte, se habían recibido 9 y 11 informes, respectivamente. Las localidades donde se establecieron los ensayos están en los Cuadros 3 y 4.

Para el ensayo de híbridos blancos se utilizó un diseño de látice rectangular 6 x 5 con 3 repeticiones y 4 surcos por unidad experimental. En el ensayo de híbridos amarillos, el número de cultivares fue de 14 por lo que se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones y el número de surcos fue de cuatro igual se hizo en los híbridos blancos. El número de plantas por surco de 5m de largo fue de 22 considerándose los dos surcos centrales como la parcela útil con un rango de área de 8.25 y 9.90 m². El testigo del ensayo de híbridos blancos fue HB-33 y el de los amarillos fue HA-46, ambos del ICTA-Guatemala. Se registraron las variables días a floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca (m), acame de raíz y tallo, enfermedades comunes, mazorcas descubiertas, aspecto de planta y mazorca, peso de campo de mazorca, porcentaje de humedad y ajuste de rendimiento al 15% de humedad. En los híbridos blancos el análisis de varianza por localidad de rendimiento se efectuó con el modelo de

látice y para los amarillos se utilizó el modelo de BCA. Se calculó la diferencia mínima significativa (DMS) al 5%. La interacción genotipo-ambiente se midió por el modelo AMMI, de los efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (Crossa et al. 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo de Híbridos de Grano Blanco

Los resultados del análisis de varianza individual y el combinado de las localidades se presentan en el Cuadro 5, donde se aprecia que solamente en las localidades de Cuyuta, San Jerónimo y EAP, en el resto de las localidades se encontró alta significancia entre estos híbridos, sometidos a la evaluación. La alta significancia de la interacción localidad x tratamiento en rendimiento nos indica que los híbridos están influenciados de manera diferente por el efecto del ambiente. El rango del CV oscila entre 9.2 y 20.1%. La localidad con mejor rendimiento fue Omonita con 6.67 t/ha y la menor fue Santa Cruz Porrillo con 0.89 t/ha. En todas las localidades la eficiencia de usar el análisis de látice sobre bloques completos al azar estuvo arriba del 50%.

Cuadro 1. Ensayo de híbridos de maíz de grano blanco del PCCMCA. 1995.

Entrada	Híbrido	Institución/Empresa	País
1	CB-HS-5G	Cristiani Burkard	Guatemala
2	CB-HS-5GM2	Cristiani Burkard	Guatemala
3	CB-HS-7GM1	Cristiani Burkard	Guatemala
4	HR-15	Seminal	Guatemala
5	HR-15M	Seminal	Guatemala
6	HR-93	Seminal	Guatemala
7	HR-93M	Seminal	Guatemala
8	C-381	Kargill	México
9	C-220	Kargill	México
10	C-223	Kargill	México
11	DK-B833	Dekalb	USA
12	PP-9144	Dekalb	USA
13	DK-880	Dekalb	USA
14	Pioneer 1394BN	Pioneer	USA
15	Pioneer x1394FN	Pioneer	USA
16	HN-951	INTA	Nicaragua
17	HN-953	INTA	Nicaragua
18	HN-955A	INTA	Nicaragua
19	HN-955B	INTA	Nicaragua
20	HB-83	ICTA	Guatemala
21	HB-85	ICTA	Guatemala
22	HE-9101	ICTA	Guatemala
23	H-53	CENTA	El Salvador
24	MAX307M	AGRIDEC	México
25	MAX347	AGRIDEC	México
26	SEMESA 481	SEMESA	México
27	HB-61	DICTA	Honduras
28	HB-62	DICTA	Honduras
29	HB-63	DICTA	Honduras
30	HB-6	DICTA	Honduras

Cuadro 2. Ensayo de híbridos de grano amarillo del PCCMCA. 1995

Entrada	Híbrido	Institución/Empresa	País
1	P-8812	IDIAP	Panamá
2	P-8916	IDIAP	Panamá
3	C-1002	KARGILL	México
4	DK-888	DEKALB	USA
5	NO3XTC6	CESDA	Rep. Dominicana
6	NO3XDK12	CESDA	Rep. Dominicana
7	HE9126	ICTA	Guatemala
8	HA-46	ICTA	Guatemala
9	HE-9126	ICTA	Guatemala
10	DK-999	DEKALB	USA
11	H-104	CENTA	El Salvador
12	XL-380	DEKALB	USA
13	HA-71	DICTA	Honduras
14	HA-72	DICTA	Honduras

Cuadro 3. Localidades en donde se ejecutaron los ensayos de híbridos blancos del PCCMA. 1995

País	Localidad	Institución/Empresa	No. Ensayos
Guatemala	Cuyuta	ICTA	1
Guatemala	San Jerónimo	ICTA	1
Guatemala	Tiquisate	ICTA	1
El Salvador	Sta Cruz Porrilo	CENTA	1
Honduras	Omonita	DICTA	1
Nicaragua	Sta Rosa	INTA	1
Nicaragua	León	INTA	1
Honduras	EAP	DICTA	1
Honduras	Lepaguare	DICTA	1
Honduras	Comayagua	DICTA	1
Total de Ensayos			10

Cuadro 4. Localidades en donde se ejecutaron los ensayos de híbridos amarillos del PCCMCA. 1995.

País	Localidad	Institución/Empresa	No. Ensayos
Guatemala	Cuyuta	ICTA	1
Guatemala	La Máquina	ICTA	1
Guatemala	Tiquisate	C. BURKARD	1
El Salvador	Sta Cruz Porrilo	CENTA	1
Honduras	Danlí	DICTA	1
Honduras	Lepaguare	KARGILL	1
Honduras	EAP	DEKALB	1
Nicaragua	Sta. Rosa	INTA	1
Panamá	Parita	IDIAP	1
Panamá	El Ejido	IDIAP	1
Panamá	Rio Hato	IDIAP	1
Total de Ensayos			11

En el análisis AMMI (Cuadro 6) se encontró alta significancia para todas las fuentes de variación en el estudio. El PCA1 captó el 33.5% de la suma de cuadrados de la interacción con el 11.6% de los grados de libertad, los ejes PCA1 y PCA2 en conjunto captan el 55.37% de la suma de cuadrados de la interacción con 28.2% de los grados de libertad; sin embargo, se escogió el primer eje (PCA1) para hacer la predicción por captar este la mejor proporción de la suma de cuadrados, tal como lo menciona Crossa (1988).

En el Cuadro 7 se muestran los híbridos y las localidades asociadas con sus respectivas medias de rendimiento, tanto genotipos como localidades manifiestan diferentes resultados de interacción y rendimiento. Los híbridos más estables fueron CB-HS-7GM1, C220, DK-833, Pioneer 1394 FN, HN953, SEMESA-481 y HB-62, Pioneer 1394BN y HB-85. Sin embargo, el híbrido Pioneer 1394 superó al testigo HB-83 (4.75 t/ha) con 40.8% y un rendimiento de 9.94 t/ha.

Para una mejor interpretación visual se presenta la Figura 1 en donde se muestra el híbrido CB-HS-7GM1 que reportó rendimientos altos y esta dentro de los estables (puntuación AMMI 0.125). Sin embargo, el más estable fue SEMESA 481 pero con rendimientos más bajos que la media obtenida en la evaluación 4.365 t/ha. Los híbridos que interactuaron más con el ambiente fueron Pioneer 9144 y H-53 ya que presentaron puntuaciones AMMI de 0.921 y -0.885 por lo tanto se clasifican como genotipos que se adaptan bien en ambientes específicos de producción. Los ambientes que más interactuaron con los híbridos de acuerdo a la puntuación AMMI fueron León, Lepaguare y EAP con scores de -1.078 y 0.726, respectivamente.

Ensayo de Híbridos de Grano Amarillo

El análisis de varianza por localidad y combinado se detalla en el Cuadro 8 en donde no hubo respuesta significativa en las localidades de Lepaguare, Cuyuta y La Máquina, luego en el resto de las localidades el comportamiento de los híbridos fue diferente en esos ambientes. Las localidades donde se obtuvo los mayores rendimientos fue Las Acacias y EAP y los CV's oscilaron entre 10.9 y 32.5%.

El Cuadro 9 se presenta el análisis AMMI de los 14 híbridos evaluados en 11 localidades donde los resultados fueron similares al caso de los híbridos blancos. Se encontró alta respuesta significativa para todas las variables de fuente de variación. El primer eje de interacción PCA1 captó el 42.5% de la suma de cuadrados de la interacción localidad x híbridos con 16.9% de los grados de libertad.

De los 14 híbridos amarillos evaluados en el PCCMCA 95 según los resultados del análisis AMMI (Cuadro 10) los materiales P-8812, P-8916, HE-9126, HE-9122, DK-999, H-104, HA-72 se consideran estables ya que presentaron puntuaciones AMMI de 0.044, -0.165, 0.127, 0.290, 0.219, -0.257 y -0.111, respectivamente. Las puntuaciones se aproximan a cero por lo que se deduce que tuvieron baja interacción con el ambiente. La Figura 2 muestra los 7 híbridos con mejor estabilidad. El mejor híbrido fue Dekalb-888 con rendimiento de 5.19 t/ha que superó al testigo HA-46 (3.76 t/ha) en 38.1%, sin embargo, tuvo una puntuación AMMI de 0.793 por lo que se deduce que tuvo una alta interacción con el ambiente. Una de las localidades que presentó altos rendimientos fue la EAP, pero al mismo tiempo una puntuación AMMI de 1.197, con bastante interacción genotipo x ambiente.

Cuadro 5. Análisis de Varianza por localidad de la variable rendimiento de grano blanco del PCCMCA 1995.

No.	Localidad	C.M	Media T/ha	C.V (%)	E.I (%)
1	San Jerónimo (ICTA)	1.140 NS	5.859	12.53	151.16
2	Cuyuta (ICTA)	0.460 NS	2.858	20.15	166.87
3	Tiquisate (C. Burkard)	1.553 **	4.596	10.81	
4	Sta. Cruz Porrillo (CENTA)	0.097 **	0.887	19.36	181.66
5	Omonita (DICTA)	0.459 **	6.669	10.45	
6	Lepaguare (Cargill)	1.401 *	4.821	14.35	158.35
7	EAP (Dekalb)	0.885 NS	6.665	11.38	150.20
8	Sta Roa (INTA)	1.419 **	4.282	9.23	153.09
9	León (INTA)	1.380 **	2.641	15.35	209.73
	Combinado	2.704 **	4.36	4.27	1393.78
	Interacción LocXTrat	0.885 **			

CM = Cuadrado medio de tratamientos, CV = Coeficiente de variación, EL = Eficiencia de Látice comparado con bloques completos al azar
NS = No significativo, ** = Altamente significativo ($\alpha = 0.01$), * = Significativo ($\alpha = 0.05$)

Cuadro 6. Análisis AMMI por rendimiento de grano de 30 híbridos de grano blanco evaluados en nueve localidades PCCMCA 1995.

Fuente	G.L	S.C	C.M.	Probabilidad
Localidades	8	2743.76	342.97	0.000****
Híbridos	29	78.14	2.69	0.000****
Localidad x Hdo	232	203.84	0.87	0.000****
PCA 1	36	68.30	1.89	0.000****
PCA 2	34	46.63	1.37	0.000****
Error	522	253.52	0.485	
Total	809	3291.34		

Cuadro 7. Puntuaciones para híbridos de grano blanco y ambientes del primer eje de interacción (AMMI), PCCMCA 1995.

No.	Hdos	Rend T/ha	Punt AMMI	Ambientes	Rend. T/ha	Punt. AMMI
1	CBHS5G	4.737	-0.302	7 San Jerónimo	5.859	-0.063
2	CBHS5GM2	4.707	-0.391	8 Cuyuta	2.858	-0.043
3	CBHS7GM1	4.929	0.125	2 Tiquisate	4.596	-0.420
4	HR-15	3.977	-0.250	5 Sta Cruz Porrillo	0.887	-0.038
5	HR15M	4.251	-0.136	3 Omonita	6.669	0.401
6	HR93	4.170	-0.268	4 Lepaguare	4.821	1.398
7	HR93M	4.270	-0.327	1 EAP	6.665	0.726
8	C381	4.225	0.386	9 Sta Rosa	4.282	-0.043
9	C220	4.370	0.103	6 Leon	2.641	-1.078
10	C223	4.018	0.844			
11	DKB833	4.148	-0.099			
12	PP9144	3.900	0.921			
13	DK880	4.129	0.428			
14	P1394BN	4.944	-0.151			
15	P1394FN	4.718	-0.083			
16	HN951	4.581	-0.110			
17	HN953	4.122	0.117			
18	HN955A	4.225	-0.106			
19	HN955B	4.162	-0.115			
20	HB83	4.755	0.366			
21	HB95	4.503	0.132			
22	HE9101	4.681	0.466			
23	H53	4.700	-0.885			
24	MAX307M	4.648	0.211			
25	MAX347	4.066	0.433			
26	SEMESA481	3.844	0.032			
27	HB61	4.362	-0.461			
28	HB62	4.211	0.053			
29	HB63	4.003	-0.795			
30	HB64	4.581	-0.137			
	X	4.365				

Cuadro 8. Análisis de Varianza por localidad de la variable rendimiento de grano amarillo del pccmca 1995.

No.	Localidad	C.M	Media (T/ha)	C.V (%)
1	Acacias (DICTA)	3.639 *	6.574	18.04
2	Lepaguare (KARGILL)	1.585 NS	4.850	21.76
3	Parita (IDIAP)	2.718 **	4.451	17.92
4	El Ejido (IDIAP)	0.680 *	3.435	15.86
5	EAP (DEKALB)	4.192 **	6.334	12.21
6	Tiquisate (C.BURKARD)	1.260 **	4.386	10.89
7	Cuyuta (ICTA)	0.424 NS	2.587	38.52
8	Rio Hato (IDIAP)	1.560 **	4.369	11.62
9	La Máquina (ICTA)	0.306 NS	3.751	15.45
10	Sta Cruz Porrillo (CENTA)	1.803 **	2.630	23.45
11	Santa Rosa (INTA)	1.255 **	4.042	13.37
	Combinado	8.923 **	4.302	17.89

Cuadro 9. Análisis AMMI para rendimiento de 14 híbridos de grano amarillo en 11 localidades PCCMCA 1995.

Fuente	G.L	S.C	C.M.	Probabilidad
Localidades	10	691.845	69.184	0.0000****
Híbridos	13	116.034	8.925	0.0000****
Localidad x Hdo	130	136.467	1.049	0.0000****
PCA 1	22	58.027	2.637	0.0000****
PCA 2	20	23.980	1.199	0.065**
Error	286	169.335	0.592	
Total	461	1132.746	2.457	

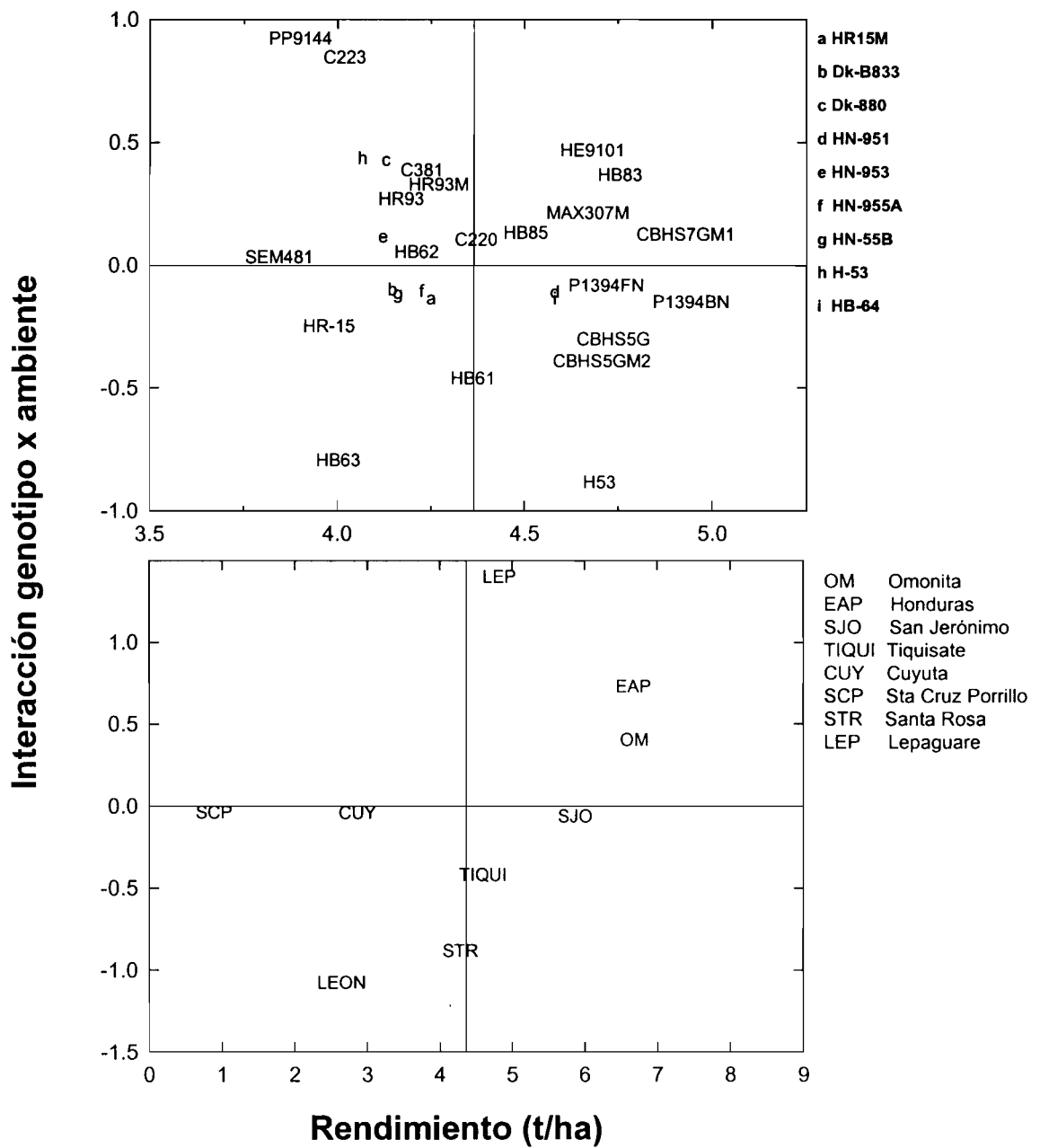


Figura 1. Medias de rendimiento y puntuaciones del primer eje del componente principal de 30 híbridos de grano blanco y 9 ambientes. PCCMCA 1995.

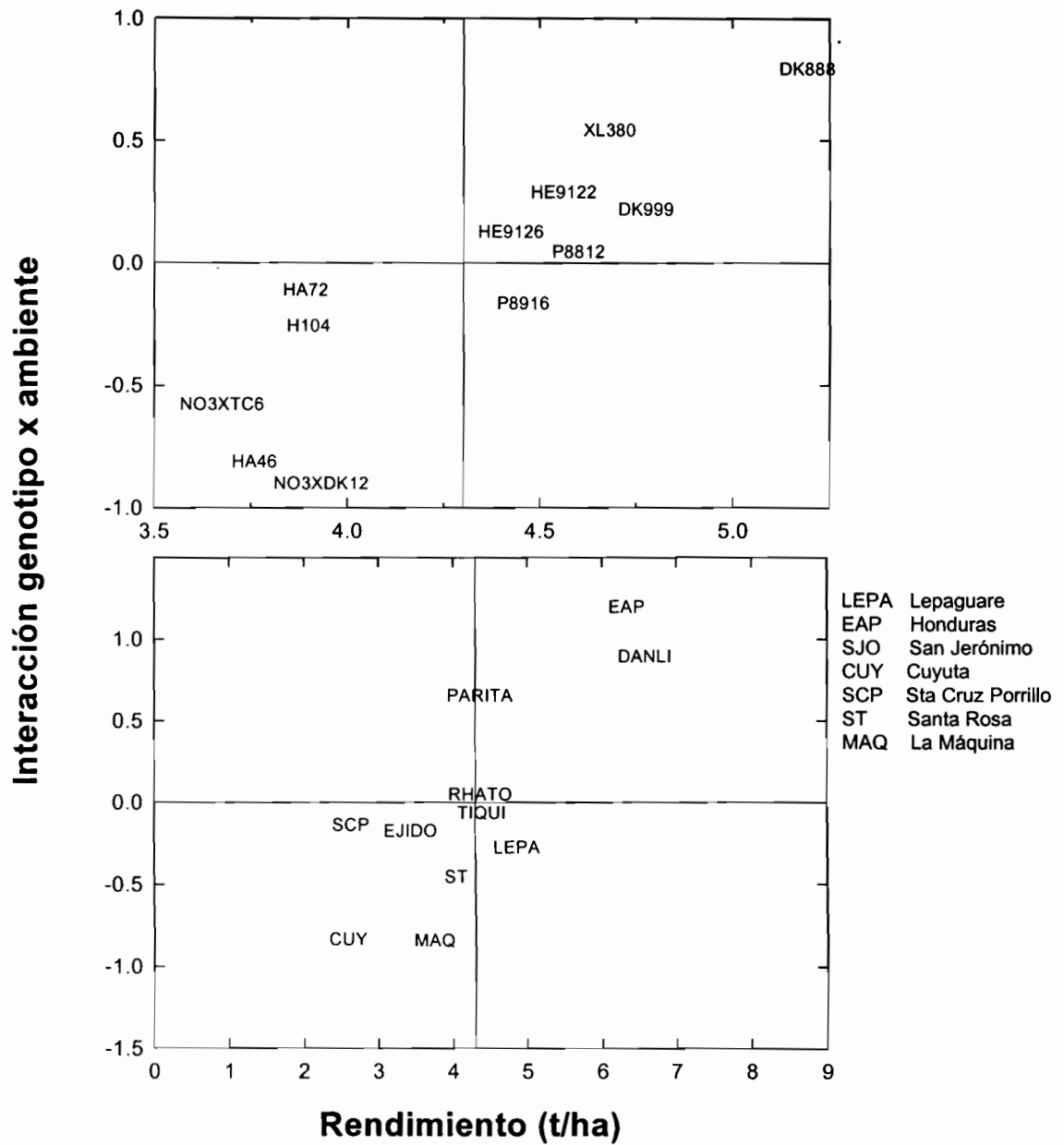


Figura 2. Medias de rendimiento y puntuaciones del primer eje del componente principal de 14 híbridos de grano amarillo y 11 ambientes. PCCMCA 1995.

En ambas evaluaciones el factor productivo fue similar para híbridos blancos y amarillos ya que la media de rendimiento fue de 4.36 y 4.30 t/ha, respectivamente, sin embargo; se detectaron un mayor número de híbridos amarillos que superaron al testigo, se puede deducir que el progreso del mejoramiento de los híbridos blancos podría permanecer estabilizado.

De acuerdo a la información obtenida, en los dos ensayos el manejo agronómico se considera algo deficiente ya que la densidad de población fue baja, para blancos de 36,000 a 46,000 plantas/ha y para amarillos de 36,000 a 45,000 plantas/ha. La densidad teórica debe ser de 53,000 plantas/ha por lo que se está perdiendo un 13 -14% de plantas en el transcurso del ciclo del cultivo.

De acuerdo a los resultados es evidente los logros alcanzados por los Programas Nacionales y las Empresas Privadas en la generación de híbridos con alto potencial de rendimiento y con muy buenas características agronómicas.

CONCLUSIONES

1. Se prepararon un total de 32 ensayos de híbridos del PCCMCA 1995 fueron 15 de color de grano blanco y 17 de grano amarillo recibiendo información de 9 localidades para los blancos y 11 localidades para los híbridos amarillos, traducándose en 66 y 70% de recuperación de la información.
2. En las dos evaluaciones el comportamiento productivo de los híbridos fue similar ya que la media de rendimiento para híbridos blancos fue de 4.36 t/ha y para los amarillos fue de 4.30 t/ha. Sin embargo, se identificaron más híbridos amarillos que superaron al testigo (HA-46) que en el caso de los blancos.
3. Los híbridos blancos con mejor estabilidad fueron CB-HS-7GM1, C220, DK-833, Pionner 1394 FN, HN953, SEMESA-481 y HB-62, Pionner 1394BN y HB-85. Los híbridos amarillos con mejor estabilidad fueron P-8812, P-8916, HE-9126, HE-9122, DK-999, H-104 y HA-72.
4. La productividad de ciertos híbridos provenientes de los Programas Naciones y Empresas Privadas fueron generalmente superiores a los testigos por lo que se deduce que han habido progresos significativos en la generación de germoplasma tropical.

RECONOCIMIENTO

El presente informe es producto de un trabajo cooperativo en el cual han participado entidades e instituciones de Centro América, Panamá, El Caribe y México, en donde los trabajos se han llevado a cabo con mucho interés y profesionalismo. *El Salvador*: Adán Aguiluz, Fidencio Guerra, (CENTA). *Guatemala*: Salvador Castellanos, Carlos Pérez, José Luis Quemé, Mario Roberto Fuentes, Luis Larios (ICTA), Antonio Cristiani B., Salvador Castellanos (CRISTIANI BURKARD), René Velázquez (SEMINAL), *Honduras*: Luis Brizuela, Danilo Escoto, Ouit Zapata, Santos R. Calix (SRN), Francisco Gómez, Guillermo Cerritos (El Zamorano), Alejandro Palma (Dekalb), Carlos H. Merlo (Cargil), *Nicaragua*: Róger Urbina, Rafael Obando, Marcos Mendoza (INTA), *Costa Rica*: Leopoldo Pixley, Carlos Calderón (MAG), *Panamá*: Alfonso Alvarado, Daniel Pérez, Timoteo Ponce (IDIAP), *Cuba*: Cecilio Torres (IIHLL), *Haití*: Jean René Bossa (CRDA), *Rep. Dominicana*: Richard Ortiz, Félix Navarro, Rodolfo Pierre (CESDA), *CIMMYT*: Jorge Bolaños, William Quemé, Miriam Hernández (PRM).

REFERENCIAS

- Alvarado, A., I. Camargo B. y R. Gordón. 1994. Evaluación de Híbridos de Maíz (*Zea mays L.*) de Grano Blanco y Amarillo, en Ambientes de Centroamérica, Panamá y El Caribe. Informe PCCMCA 1994. Panamá, 37 p.
- Córdova, H.S. 1989. Evaluación de 36 cultivares de maíz en 20 ambientes de Centro América, Panamá y El Caribe, PCCMCA 1988. Presentado en la XXXV Reunión Anual del PCCMCA, San Pedro Sula, Honduras.
- Crossa, J.; H.G. Gauch Jr. y R.W. Zobel. 1988. Estimación estadística predictiva de rendimiento en ensayos de variedades. In Simposio "Modelos de Estabilidad para Evaluar la Adaptación de Cultivares. XXXIV Reunión Anual del PCCMCA, San José, Costa Rica.
- Queme, J.L.; M.R. Fuentes. 1992. Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays L.*) de grano blanco y amarillo, en diferentes ambientes de México, Centro América, El Caribe y Venezuela. Informe PCCMCA 1991 PRM-ICTA, Guatemala, C.A. 61p.
- Urbina, R. 1992. Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays L.*) de grano blanco y amarillo en ambientes de Centro América, Panamá, el Caribe y México. Informe PCCMCA 1993. Guatemala C.A. 60 p.
- Pixley L. 1993. Evaluación de híbridos de maíz (*zea mays L.*) de grano blanco y amarillo en ambientes de Centro America, Panamá, el Caribe. Informe PCCMCA 1994 Tegucigalpa Honduras.



**EVALUACION DE TECNOLOGIAS PARA EL MANEJO
SOSTENIBLE DE LOS SISTEMAS DE
PRODUCCION DE MAIZ**

Respuesta a Densidad de Siembra y Niveles de Nitrógeno de Tres Cultivares de Maíz Evaluados en Tres Localidades de Guatemala

Luis Larios¹, José Luis Quemé¹, José Luis Zea¹, Carlos Pérez¹, Salvador Castellanos¹ y Jorge Bolaños²

RESUMEN

Una buena parte de la ganancia genética en cultivares modernos de maíz se debe a una mejor tolerancia a densidad. Este trabajo tiene por objetivo caracterizar la respuesta a densidad a varios niveles de N de los cultivares de maíz más importantes de ICTA. Se usó un diseño de parcelas sub-sub-divididas con 2 niveles de N (75 y 150 kg N/ha), 3 niveles de densidad (3.0, 5.0 y 7.0 pl/m²) y 3 cultivares (2 comunes y un testigo local por localidad) en 3 repeticiones a través de 3 localidades en Guatemala. La respuesta a densidad se analizó por regresión lineal entre el logaritmo del rendimiento por planta y la densidad (método de Duncan). Se hizo análisis por localidad y combinado para los cultivares comunes, (HB-85 y B-1). La densidad óptima osciló entre 5.0 y 6.0 pl/m² para ambos cultivares, pero el rendimiento fue mayor para HB-85 (6.2 t/ha) comparada con B-1 (5.0 t/ha). No se detectó una respuesta significativa a dosis de N, ni interacción entre densidad x N. Una posible explicación de la ausencia de respuesta a N es el hecho que los ensayos fueron conducidos en estaciones experimentales con historia de fertilización continua. Se sugiere continuar la caracterización de la respuesta a densidad de estos cultivares bajo condiciones en campos de agricultores típicos.

El desarrollo de germoplasma mejorado de maíz de ICTA es una de las mayores actividades del Programa de Maíz que es primordial para seguir encontrando mejores genotipos que puedan responder a las exigencias de los agricultores. Aunado a la investigación genética, también se realizan estudios de manejo de estos cultivares para identificar la forma de como responden a los paquetes tecnológicos que se tienen hoy en día.

Bolaños (1993) indica que existen varias avenidas para incrementar la productividad (fracción cosechable de una cultivo: a) un incremento en la duración del cultivo o en la producción de la fase de llenado de grano dentro del total; b) un incremento en la producción de materia seca por unidad de área y por consiguiente una

mayor producción de grano, c) un incremento en la producción de materia seca destinada a la fracción cosechable (mazorca) reflejando una mejoría en el índice de cosecha; y d) una mejoría en la tolerancia a alta densidad que también esta asociada a la capacidad de tolerar estreses ambientales.

Actualmente la recomendación sobre la densidad del cultivo del maíz es de 4.4 pl/m², densidad similar que han encontrado con cultivares del PRM (<5.0 pl/m²) (Larios, 1990; Bolaños 1993), lo cual indica que los últimos cultivares liberados no han sido mejorados para tolerar una mayor densidad. También se tiene la idea que al cambiar a una densidad mayor, se tiene que cambiar los porcentajes de nutrimentos, ya que el N es típicamente uno de los elementos más limitantes en los agroecosistemas (Kocher, 1986). Los objetivos que se plantearon para este estudio fue de caracterizar la respuesta a densidad de siembra de tres cultivares de maíz y determinar si existe alguna respuesta a cambios de una mayor fertilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético lo constituyó semilla de las variedades e híbridos comerciales y experimentales: B-1, B-5, HB-85 y HE-9126, siendo estos genotipos los que tienen demanda nacional. El diseño utilizado fue de parcelas sub-sub-divididas, donde la parcela grande fue niveles de N (75 y 150 kg/ha), la parcela media densidad (3.0, 5.0 y 7.0 pl/m²) y la parcela chica tres variedades (dependiendo de la localidad). La unidad experimental fue de 13.2 m² con distanciamientos de siembra de acuerdo a la densidad, manteniendo el ancho de surco a 0.80 m. Los ensayos se ubicaron en las estaciones experimentales de ICTA en Cuyuta, San Jerónimo y Jutiapa. El ensayo recibió un manejo adecuado y una aplicación de P de 40 kg/ha como P₂O₅.

A la cosecha se tomaron parámetros como: número de plantas, número de mazorcas, peso de grano, humedad del grano. Los cálculos de rendimientos de grano se realizaron al 15 % de humedad, se cuantificó el número de plantas (pl/m²), peso de mazorca y mazorcas por planta (mz/pl). La respuesta a densidad se analizó por el método de Duncan (1958) (Bolaños et al., 1993).

¹Técnicos del Programa de Maíz, ICTA; ²Agrónomo Regional CIMMYT.

RESULTADOS

En los Cuadros 1, 2 y 3 se muestran los resultados de análisis estadístico que se realizaron para las variables plantas por m², mazorcas por m², mazorcas por planta, rendimiento por planta, peso de mazorca y rendimiento de grano para Cuyuta, San Jerónimo y Jutiapa. Para N, Jutiapa (Cuadro 3) no mostró significancia para todas las variables evaluadas, mientras que en Cuyuta solamente plantas/m² fue significativo. Para San Jerónimo, el peso de mazorca y rendimiento (t/ha) no fueron significativos. Sin embargo, el factor densidad mostró alta significancia para todas las variables en las tres localidades y los tres niveles de densidad afectaron en diferente forma a las variables estudiadas. De forma similar el factor variedades denotó un comportamiento diferente para las variables rendimiento de grano y peso de mazorca en las tres localidades ya que a nivel estadístico fueron diferentes indicando que al menos un genotipo fue superior en esta evaluación. La mayoría de interacciones de primer y segundo orden fueron no significativas, lo cual indica que estos factores no interactúan en las variables evaluadas sino que actuaron en forma independiente.

En el Cuadro 4 se muestran los estadísticos a nivel combinado de las tres localidades donde se evaluaron los genotipos a diferentes densidades, donde se puede observar que los factores principales fueron no significativos a excepción del factor variedades que denota significancia a $P < 0.01$ en rendimiento de grano, pl/m², mz/m² y peso de mazorca. En cuanto a las interacciones de primer y segundo orden, estas no mostraron significancia en la mayoría de los casos.

En los Cuadros 5, 6 y 7 se muestran los componentes de rendimiento del ensayo de densidades para estimar la respuesta de tres cultivares de maíz. Se observa que para altura de planta y de mazorca ninguna densidad afectó a estas variables ya que en las tres densidades los cultivares mostraron alturas de planta normales de acuerdo a la localidad en donde fueron evaluados. En Cuyuta la altura fue entre 222 y 231 cm (Cuadro 5), San Jerónimo entre 208 y 225 cm (Cuadro 6) y Jutiapa entre 129 y 132 cm (Cuadro 7). El peso de la mazorca en baja densidad fue 86, 111 y 130 g, respectivamente, seguido por la densidad media con 88, 108 y 107 g, y por último en densidad alta con pesos de 82, 96 y 85 g en Cuyuta, San Jerónimo y Jutiapa, respectivamente.

En el Cuadro 8 se resume a nivel combinado los componentes del rendimiento de las tres localidades evaluadas notándose la misma tendencia que a nivel individual donde la densidad baja tiende a tener el mayor

peso de mazorca y número de mazorcas por planta, pero el rendimiento es mayor en la alta densidad lo cual indica que estos genotipos soportan densidades mayores a 7.0 pl/m².

Un factor importante que da seguridad a los resultados es que se pudo mantener las densidades teóricas en el campo ya que estas fueron de 3.0, 5.0 y 7.0 pl/m² y la densidad real en promedio de las tres localidades fueron de 3.27, 5.19 y 7.08 pl/m² (Cuadro 8). En cuanto a rendimiento la densidad alta mostró los mayores rendimientos de 5.25, 7.33 y 5.77 t/ha, la densidad media de 4.90, 6.73 y 5.61 t/ha, siendo estos resultados estadísticamente diferentes de la densidad baja que mostró rendimientos de 3.59, 5.11 y 4.58 t/ha para Cuyuta, San Jerónimo y Jutiapa, respectivamente.

Para el factor cultivar los resultados se muestran en los Cuadros 9, 10 y 11 de las tres localidades evaluadas donde solo para peso de mazorca se nota que existieron cambios donde las variedades fueron las de menor peso con 80, 90 y 99 g/mazorca para B-1 en las tres localidades y para B-5 de 89 g en Jutiapa, mientras que el híbrido HB-85 expresó pesos de 93, 94 y 134 g para las tres localidades, lo anterior viene a repercutir en la expresión final del rendimiento donde se demuestra que los híbridos tienden a tener mayor rendimiento que las variedades de polinización libre posiblemente por tener un mayor período de llenado de grano.

Los componentes del rendimiento en promedio en función de genotipos comunes en ensayos y a través de localidades se presentan en los Cuadros 12 y 13. Los cambios que existen de poder cultivar una variedad versus un híbrido lo cual se nota claramente que un híbrido tiene mayor rendimiento que una variedad para este caso fue de 1.2 t/ha la diferencia (Cuadro 12), lo anterior se debe a que los híbridos tienen un mejor aprovechamiento de los nutrientes en el llenado de grano. El mayor rendimiento se observó en San Jerónimo (6.44 t/ha) y el menor en Cuyuta (4.59 t/ha).

En base a los resultados anteriores se infiere que el comportamiento de los genotipos de maíz en relación a densidad, pareciera que pueden soportar altas densidades y aún siguen obteniendo altos rendimientos, pero no hay un cambio drástico de la densidad media a la alta lo cual indica que la mejor densidad es de 5.0 pl/m² y que en promedio mostró 5.91 t/ha en comparación con la densidad alta que rindió 6.37 t/ha. En cuanto a fertilización no se observó respuesta significativa de pasar de 75 a 150 kg/ha de N porque los cambios son mínimos en cuanto a rendimiento y mostraron 5.54 y 5.68 t/ha con bajo y alto nivel, respectivamente.

Cuadro 1. Estadísticos estimados de respuesta a densidad y fertilización en tres cultivares de maíz en Cuyuta 1994.

Fuente de variación	gl	Plantas m ²	Mzca m ²	Mzca/pl	PesoMzca	Rend. tm/ha
Nitrogeno (N)	1	1.08**	0.005ns	0.018ns	111.3ns	0.12ns
Densidad (D)	2	63.23**	22.5**	0.492**	155.9**	13.8**
Cultivares(C)	2	0.19ns	2.47**	0.066**	849.8**	7.5**
N * D	2	0.41**	0.96ns	0.011ns	123.8*	0.45ns
N * C	2	0.18ns	0.53ns	0.003	6.53ns	0.18ns
D * C	4	0.08ns	0.22ns	0.023*	38.18ns	0.33ns
N * D * C	4	0.07ns	0.30ns	0.012ns	46.47ns	0.09ns

*, **, ns: Significativo al 1 y 5% de probabilidad y no significativo, respectivamente

Cuadro 2. Estadísticos estimados de respuesta a densidad y fertilización en tres cultivares de maíz en San Jerónimo 1994.

Fuente de variación	gl	Plantas m ²	Mzca m ²	Mzca/pl	Peso Mzca	Rend. t/ha
Nitrogeno (N)	1	0.23**	2.67**	0.04*	329.4ns	1.33ns
Densidad (D)	2	63.6**	26.24**	0.23**	1130.1**	29.69**
Cultivares(C)	2	0.03ns	1.02ns	0.05**	1854.2**	3.35*
N * D	2	0.02ns	0.85ns	0.02ns	107.1ns	2.9*
N * C	2	0.003ns	0.26ns	0.01ns	208.3ns	1.5ns
D * C	4	0.006ns	0.29ns	0.02ns	196.7ns	0.8ns
N * D * C	4	0.123ns	0.42ns	0.01ns	133.5ns	1.5ns

*, **, ns: Significativo al 1 y 5% de probabilidad y no significativo, respectivamente

Cuadro 3. Estadísticos estimados de respuesta a densidad y fertilización en tres cultivares de maíz en Jutiapa 1994.

Fuente de variación	gl	Plantas m ²	Mzca m ²	Mzca/pl	Peso Mzca	Rend. t/ha
Nitrogeno (N)	1	0.0009ns	0.109ns	0.004ns	81.4ns	0.25ns
Densidad (D)	2	69.6**	44.37**	0.166**	9182.8**	7.56**
Cultivares(C)	2	0.02*	0.21*	0.019*	10217.8**	21.05**
N * D	2	0.01ns	0.05*	0.002ns	6.35ns	0.12ns
N * C	2	0.02*	0.004ns	0.0003ns	25.28ns	0.10ns
D * C	4	0.02**	0.15*	0.003ns	606.02**	0.18ns
N * D * C	4	0.01ns	0.17*	0.006*	77.4ns	0.13ns

*, **, ns: Significativo al 1 y 5% de probabilidad y no significativo, respectivamente

Cuadro 4. Estadísticos estimados de respuesta a densidades y fertilización de tres cultivares de maíz evaluados en tres localidades de Guatemala, 1994.

F. de V.	gl	Rend.	Pl/m ²	Mzca/m ²	Peso Mzca	Mzca/pl
Localidad (L)	2	31.55**	1.66**	0.80*	8219.25**	0.05**
Nitrógeno (N)	1	0.45ns	0.12ns	0.13ns	10.62ns	0.01ns
Densidad (D)	2	0.49ns	130.65**	64.80**	4563.04**	0.49**
Cultivar (C)	2	39.09**	0.34**	0.30ns	13973.1**	0.001ns
N x D	2	0.17ns	0.08ns	0.03ns	1.51ns	0.002ns
N x C	1	0.42ns	0.12ns	0.03ns	221.51ns	0.002ns
D x C	2	0.83ns	0.07ns	0.27ns	704.65**	0.003ns
L x N	2	0.07ns	0.42**	0.60ns	199.14ns	0.009ns
L x D	4	1.49**	0.06ns	0.75**	2100.11**	0.010ns
L x C	2	0.93ns	0.06ns	2.31**	1214.41**	0.080**
L x N x D	4	0.77ns	0.11ns	0.21ns	111.58ns	0.010ns
L x N x C	2	1.31*	0.11ns	0.66*	105.32ns	0.007ns

*, **, ns: Significativo al 1 y 5% de probabilidad y no significativo, respectivamente

Cuadro 5. Componentes de rendimiento en el ensayo de respuesta a densidades de tres cultivares de maíz evaluados en Cuyuta, 1994.

Variable	Densidad		
	Media	Alta	Baja
Rend (tm/ha)	3.59	4.90	5.25
Altura planta	222.00	233.00	231.00
Altura mazorca	119.00	130.00	127.00
Pl/m ²	3.43	5.38	7.17
Mzca/m ²	4.18	5.57	6.40
Peso Mzca (gr)	86.00	88.00	82.00
Mzca/pl.	1.22	1.03	0.89
MCob(%)	5.00	1.00	1.00

Cuadro 6. Componentes de rendimiento en el ensayo de respuesta a densidades de tres cultivares de maíz evaluados en San Jerónimo, 1994.

Variable	Densidad		
	Baja	Media	Alta
Rend (tm/ha)	5.11	6.73	7.33
Altura planta	2.08	225.00	223.00
Altura mazorca	99.00	104.00	104.00
Pl/m ²	3.41	5.31	7.17
Mzca/m ²	3.69	4.98	6.10
Peso Mzca (gr)	111.13	108.08	96.14
Mzca/pl.	1.07	0.93	0.85
MCob(%)	13.00	6.00	5.00

Cuadro 7. Componentes de rendimiento en el ensayo de respuesta a densidades de tres cultivares de maíz evaluados en Jutiapa, 1994.

Variable	Densidad		
	Baja	Media	Alta
Rend (tm/ha)	4.58	5.61	5.77
Altura planta	139.00	132.00	129.00
Altura mazorca	78.00	74.00	73.00
Pl/m ²	2.99	4.93	6.92
Mzca/m ²	3.40	5.10	6.54
Peso Mzca (gr)	1.14	1.04	0.95
Mzca/pl.	130.14	106.88	84.98
MCob(%)	6.00	6.00	8.00

Cuadro 8. Componentes de rendimiento en el ensayo de respuesta a densidades de tres cultivares de maíz evaluados en tres localidades de Guatemala, 19994.

Variable	Densidad		
	Baja	Media	Alta
Rendimiento	4.53	5.91	6.37
Altura planta (cm)	190.00	197.00	195.00
Altura Mazorca (cm)	98.00	102.00	101.00
Pl/m ²	3.27	5.19	7.08
Mzca/m ²	3.73	5.27	6.40
Mzca/planta	1.14	1.01	0.90
Peso Mazorca	112.73	103.07	90.29
M. cob (%)	10.00	6.00	6.00

Cuadro 9. Respuesta de tres cultivares de maíz a diferentes densidades y niveles de fertilización evaluados en Cuyuta 1994.

Genotipo	Rend tm/ha	Altura (cm) Planta		Pl/m ²	Mz/pl	Mzca/m ²	Peso Mzca gr	MCob %
		Mzca	Mzca					
ICTA B-1	3.94	221	118	5.22	0.98	4.96	79.70	1
HB-85	5.24	240	134	5.42	1.08	5.65	92.92	4
HE-9126	4.56	224	123	5.35	1.08	5.54	83.07	2

Cuadro 10. Respuesta de tres cultivares de maíz a diferentes densidades y niveles de fertilización evaluados en San Jerónimo, 1994.

Genotipo	Rend tm/ha	Altura (cm) Mzca	Planta	Pl/m ²	Mz/pl	Mzca/m ²	Peso Mzca gr	MCob %
ICTA B-1	6.02	206	92	5.25	0.94	5.14	101	2
HB-85	6.86	223	107	5.34	1.13	4.95	94	13
HB-83	6.29	227	108	5.32	1.09	4.67	90	9

Cuadro 11. Respuesta de tres cultivares de maíz a diferentes densidades y niveles de fertilización evaluados en Jutiapa, 1994.

Genotipo	Rend tm/ha	Altura (cm) Mzca	Planta	Pl/m ²	Mz/pl	Mzca/m ²	Peso Mzca gr	MCob %
ICTA B-1	5.04	129	70	4.90	1.08	5.14	98.60	6
HB-85	6.51	144	80	4.96	1.02	4.95	134.00	16
ICTA B-5	4.04	126	73	4.97	1.02	4.95	89.10	4

Cuadro 12. Respuesta de dos cultivares de maíz a diferentes densidades y niveles de fertilización evaluados en tres localidades de Guatemala, 1994.

Genotipo	Rend tm/ha	Altura (cm) Mzca	Planta	Pl/m ²	Mz/pl	Mzca/m ²	Peso gr Mzca	MCob %
HB-85	6.20	203	107	5.24	1.02	5.19	113.4	10
ICTA B-1	5.00	185	93	5.13	1.02	5.08	90.66	4

Cuadro 13. Componentes de rendimiento a través de localidades de la evaluación de tres cultivares en tres densidades y dos niveles de fertilización, Guatemala, 1994.

Localidad	Rend tm/ha	Altura (cm) Mzca	Planta	Pl/m ²	Mz/pl	Peso Mzca	MCob %
Cuyuta	4.59	231	126	5.32	1.03	86.31	3
San Jerónimo	6.44	214	94	5.29	0.98	103.33	7
Jutiapa	5.78	135	76	4.93	1.04	116.45	12

Cuadro 14. Parámetros de regresión lineal entre rendimiento y densidades para tres cultivares de maíz evaluados en Cuyuta, 1994.

Genotipo	Bajo Nitrógeno		Alto Nitrógeno	
	Intercepto	Pendiente	Intercepto	Pendiente
ICTA B-1	5.02	-0.083	5.08	-0.084
HB-85	4.68	-0.068	4.81	-0.086
HE-9126	5.02	-0.108	5.22	-0.134

Cuadro 15. Parámetros de regresión lineal entre rendimiento y densidades para tres cultivares de maíz evaluados en San Jerónimo, B.V. 1994.

Genotipo	Bajo Nitrógeno		Alto Nitrógeno	
	Intercepto	Pendiente	Intercepto	Pendiente
ICTA B-1	4.937	-0.045	5.424	-0.114
HB-85	5.558	-0.120	5.121	-0.053
HB-83	5.592	-0.157	5.204	-0.073

Cuadro 16. Parámetros de regresión lineal entre rendimiento y densidades para tres cultivares de maíz evaluados en Jutiapa, 1994.

Genotipo	Bajo Nitrógeno		Alto Nitrógeno	
	Intercepto	Pendiente	Intercepto	Pendiente
HB-85	5.79	-0.176	5.73	-0.16
ICTA B-1	5.45	-0.159	5.44	-0.152
ICTA B-5	5.13	-0.119	5.27	-0.153

Cuadro 17. Parámetros de regresión lineal entre rendimiento y densidades para tres cultivares de maíz evaluados en tres localidades de Guatemala, 1994.

Genotipo	Bajo Nitrógeno		Alto Nitrógeno	
	Intercepto	Pendiente	Intercepto	Pendiente
HB-85	5.50	-0.135	5.35	-0.106
ICTA B-1	5.07	-0.099	5.18	-0.111

CONCLUSIONES

1. Solo el factor densidad mostró significancia en la mayoría de las variables evaluadas.
2. Las densidades finales fueron de 3.22, 5.19 y 7.08 pl/m², siendo estas similares a las densidades iniciales del ensayo.
3. El mayor rendimiento de los cultivares fue con la mayor densidad, con rendimiento de 6.37 t/ha, la densidad media de 5.91 t/ha y la densidad baja expresó un rendimiento de 4.53 t/ha.
4. En este estudio los híbridos mostraron un mayor rendimiento que la variedad de polinización libre, dichas expresiones fueron de 6.20 t/ha para HB-85 y de 5.00 t/ha para B-1.
5. Los resultados sobre densidades dan a entender que los híbridos responden en mejor forma que las variedades de polinización libre a una población de 5.00 pl/m².
6. En base a los resultados obtenidos se debe iniciar investigación en finca para poder medir el cambio que se pueda hacer en los diferentes arreglos topológicos que existen en los sistemas de producción de maíz y poder aumentar la densidad de siembra, ya que la

recomendación actual es 4.44 pl/m² y en este estudio se demuestra que los genotipos del Programa de Maíz pueden soportar una mayor densidad, lo cual repercute en un mayor rendimiento.

BIBLIOGRAFIA

- Bolaños, J. 1993. Bases fisiológicas del progreso genético de cultivares del PRM. Síntesis de Resultados Experimentales 1992. Guatemala. Vol 4. p11-19.
- Bolaños, J., M. Obando, R. Urbina y M. Mendoza. 1993. Respuesta a densidad de los cultivares del PRM. En: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992. Guatemala. Vol. 4, p. 20-26.
- Duncan, W. 1958. Corn response to density. *Agron J.* 43:23-32.
- Kocher, F. 1986. Documentos para diagnóstico agronómico. Guatemala 1996. Programa de Maíz CIMMYT para C.A. y El Caribe. p 142-154 y 312-330.
- Larios L.A. 1990. Eficiencia de utilización de nitrógeno en diferentes genotipos de maíz (*zea mays L.*), Guatemala 1989. In. Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios. (36, 1990 Salvador) El Salvador.

Respuesta de Dos Cultivares de Maíz a la Densidad de Plantas, Bajo Dos Niveles Contrastantes de Nitrógeno en Panamá 1993-95

Román Gordón¹, Ismael Camargo¹, Jorge Franco³, Nivaldo de Gracia² y Andrés González²

RESUMEN

Se establecieron tres ensayos de maíz en dos años, localizados en Río Hato y El Ejido, Panamá. El diseño experimental fue de parcelas sub-sub-divididas en arreglo de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela principal fue niveles de N (75 y 150 kg/ha). En las sub-parcelas se ubicaron las densidades (3.3 y 7.4 pl/m²), mientras que en las sub-sub-parcelas los cultivares (P-8916 y X-304C). Para la respuesta a densidad se utilizó el modelo de Duncan. El objetivo de este ensayo fue el obtener una respuesta a densidad bajo dos niveles contrastantes de fertilidad. La alta densidad redujo principalmente el tamaño de las mazorcas (de 112 a 69 g). De acuerdo a los resultados obtenidos y a los coeficientes de regresión logrados, observamos que el modelo de Duncan funciona correctamente y con precisión. La densidad óptima aumentó con el nivel de N de 75 a 150 kg/ha en todos los cultivares. Se observó una interacción significativa de densidad x cultivares y densidad x N para peso de mazorca, llenado de grano, ASI y número de mazorcas por planta. Factores como el índice de cosecha, número final de hojas y número de hoja de la mazorca no se vieron afectados por la densidad.

Trabajos realizado por Bolaños (1993) indican que los parámetros fenológicos y fisiológicos que explican las bases del progreso de los cultivares se basan más en la duración de la fase del llenado de grano y no de la eficiencia. En su estudio se encontró que cada día adicional de llenado incrementó los rendimientos en 100 kg/ha para las variedades de polinización libre (VPLs) y 150 kg/ha para los híbridos. Este autor encontró que los híbridos superan a las VPLs en 1.5 a 2.0 t/ha. Esta diferencia se basó en que la tasa de crecimiento de la mazorca de los híbridos es mayor en los híbridos que en las variedades (2.64 vs 2.11 g/día). También se detectó una fuerte relación negativa entre la duración del llenado y la madurez. Estos datos sugirieron que prolongar la fase de llenado de grano es un método efectivo para incrementar el rendimiento.

Algunos autores sostienen que la tolerancia a la densidad ha sido una de las causas del aumento de los cultivares modernos (Fischer y Palmer 1984; Pandey y Gardner, 1992).

Se ha encontrado que las bajas densidades son una de las razones primordiales de los bajos rendimientos de maíz encontrados en los trópicos (Bolaños y Barreto, 1991; Bolaños et al., 1993a). Una manera de evaluar la densidad óptima del cultivo de maíz ha sido el modelo de Duncan (1958), en donde se establece que el rendimiento por planta (rend/planta) decrece de manera exponencial con la densidad (pl/m²). Esta relación tiene una base teórica sólida y ha sido ampliamente validada y documentada en la literatura con muchos cultivares y en diversos ambientes (Fery y Janick, 1971; Duncan, 1984; Bolaños et al., 1993b).

Una de las conclusiones del método de Duncan (1958) posibilita evaluar la respuesta a densidad de cualquier cultivar de maíz con solamente dos niveles de densidad, ya que, sólo se necesitan dos puntos para establecer una relación lineal. La solidez de la respuesta dependerá de la solidez de los dos puntos obtenidos. Para mejor interpolación a nivel agronómico, normalmente estas dos densidades, se establecen para que estén a ambos lados del nivel óptimo, pero aún dentro de un rango apropiado agronómicamente.

Por otra parte, el uso del nitrógeno es considerado como esencial en la producción del maíz. A través de muchos estudios se ha podido documentar la importancia de este elemento, así como la respuesta positiva de este cultivo a la aplicación de diferentes fuentes que contienen este elemento. Gordón et al. (1991, 1992) encontraron el nivel óptimo económico de la aplicación de N varió de 125 a 197 kg/ha en muchos lugares de la región.

El objetivo de este estudio fue describir los parámetros fisiológicos y fenológicos estándares relevantes en la elaboración del rendimiento en los cultivares más importantes o de mayor uso en las siembras comerciales del país; así como obtener una respuesta a densidad bajo dos niveles contrastantes de fertilidad.

¹Ing. Agrónomo, M.Sc., ²Ing. Agrónomo, ³Agrónomo, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro Regional Agropecuario de Azuero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron tres ensayos de maíz, dos a inicios de septiembre de 1993 y uno en 1994. Un ensayo estuvo localizado en la Finca Experimental de Río Hato en Coclé y los otros dos en la Finca Experimental de El Ejido en la Región de Azuero.

El diseño experimental utilizado fue el de parcelas sub-sub-divididas en un arreglo de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela principal lo constituyó niveles de N (75 y 150 kg/ha). En las sub-parcelas se ubicaron las densidades, mientras que en las sub-sub-parcelas los cultivares evaluados. Las densidades evaluadas fueron de 3.3 y 7.4 pl/m². Para lograr estas densidades se sembró el maíz a 0.75 m entre hileras y la distancia entre plantas varió de 0.18 (7.4 pl/m²) a 0.40 (3.3 pl/m²). Los cultivares evaluados fueron el híbrido nacional P-8916 y el híbrido importado X-304C.

La unidad experimental estuvo conformada por 5 surcos de 5 m de largo, de los cuales, los tres centrales constituyeron la parcela efectiva. En cada golpe se dejó una sola planta. El control de malezas se realizó con la mezcla de atrazina más pendimentalina a razón de 2.0 + 2.0 l/ha, con posteriores limpiezas manuales por escapes del control de algunas malezas. La fertilización consistió de aplicación de 60 kg de P₂O₅/ha al momento de la siembra. La fertilización nitrogenada (urea) se realizó aplicando la mitad de al momento de la siembra y la otra mitad a los 30 días después de la siembra (dds).

Para las mediciones solamente se usaron plantas en los tres surcos centrales sin tomar en cuenta las dos hileras de plantas de los extremos. A los 10 días después de la germinación se marcaron con pintura blanca 12 plantas por parcela, cuando aún la hoja número 5 era reconocible. Posteriormente se hizo lo mismo con la hoja número 10. Después de la floración, se contó el número final de hojas por planta (NFH), contando desde la hoja número 10 (marcada), así como el número de la posición de la hoja de la mazorca (NHMZ).

Antes de la floración y después que el 10% de las espigas eran visibles, se visitó la parcela cada 2 a 3 días y se determinó la fecha a 50% de floración masculina y femenina (DAFM y DAFF). El intervalo entre la antesis y la emisión de los estigmas (ASI) se calculó como la diferencia entre DAFF y DAFM. Con el mismo procedimiento de visitas continuas antes de la cosecha, se determinó los días al 50% de madurez

fisiológica (DMF). La presencia de capa negra se tomó en plantas de los surcos bordes. La duración del llenado de grano se calculó como la diferencia entre DMF y DAFF.

Al momento de la cosecha se tomaron los datos de rendimiento de grano y de forraje y el número de mazorcas y plantas cosechadas. El índice de cosecha (IC) se calculó como la proporción de grano en la biomasa total. El rendimiento de grano se uniformizó al 15% de humedad y se calcularon los componentes de rendimiento estándares (Bolaños y Barreto, 1991). Se efectuó un análisis de varianza por localidad y uno combinado a través de las dos localidades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la prueba de homogeneidad de las varianzas entre las tres localidades, se encontró que las varianzas para las variables estudiadas eran homogéneas. Debido a esta homogeneidad, los datos se analizaron de manera combinada y no individual para cada localidad. En el Cuadro 1 se observa el análisis combinado de todas las variables analizadas.

Efecto de cultivares

El análisis de varianza indicó que hubo diferencias altamente significativas entre los cultivares, en relación a los componentes del rendimiento y a los parámetros fisiológicos y morfológicos evaluados. El mayor rendimiento se obtuvo con X-304 C (4.81 t/ha), seguido por P-8916 (4.30 t/ha). El índice de cosecha mostró diferencias altamente significativas, con su máximo valor en el híbrido X-304C con 44.8%. La duración entre la floración masculina y la femenina (ASI), fue similar para los dos híbridos (1.6 días).

La duración del llenado de grano difirió significativamente entre todos los cultivares, siendo el X-304C el cultivar con mayor duración de llenado (44.5 días), mientras que el P-8916 fue de con 42.4 días. En relación a la tasa de crecimiento de la mazorca, es decir, la eficiencia del llenado (este número solo incluye el crecimiento del grano, excluyendo la tuza y las hojas de la mazorca), se encontró que fue de 2.0 y 2.11 g/día para los híbridos P-8916 y X-304C, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 1. Cuadrados medios de las principales características evaluadas en el ensayo de respuesta de cuatro cultivares de maíz a la densidad de plantas bajo dos niveles de contrastantes de N. Panamá, 1993-1994

F. de Variación	Cuadrados Medios							
	g.l	RendG	PMz	MxP	Ind	LLg	ASI	RendR
Loc	2	7.78**	2625.1**	0.0059**	15.66*	3.01	1.76*	21.41***
Rep(Loc)	4	0.51	158.0	0.0012	3.02	5.76	0.07	0.03
Loc x Nit	1	0.72	110.4	0.00001	22.45	1.26	1.76*	1.57
Nit	2	0.57	183.6	0.0002	0.14	8.76*	0.26	0.62*
Rep (Nit)	2	0.19	72.8	0.0012	4.43	0.38	0.13	0.20
Den	1	4.46*	33800***	0.1169***	82.31*	27.09*	5.51*	40.71**
Den x Nit	2	0.85	70.7	0.0031	3.85	10.01	3.01	0.45
Loc x Den	2	0.96	315.9**	0.1445**	20.68*			7.51**
Loc x Den x Nit	2	0.06	12.4	0.0004	0.94			0.16
Rep (Den)	1	0.46	65.0	0.0014	3.34	1.78	0.38	0.36
Var	1	4.34***	3872.8***	0.0247***	226.79***	52.62***	2.14***	7.09***
Var x Nit	1	0.04	15.1	0.0148	0.89	7.68***	0.54*	0.05
Var x Den	1	0.19	1369.8***	0.510***	5.71	3.56**	0.62*	0.37
Var x Den x Nit	1	0.003	20.9	0.0028	14.55**	2.31*	3.12***	0.26
LocxVar x Den x Nit	8	0.37*	293.2***	0.0166***	11.72***			0.41
Error		0.15	57.6	0.0038		0.90	0.23	0.64

*, **, *** se refieren a diferencias estadísticas al 5, 1 y 0.1%, respectivamente.

Analizando estos parámetros en su conjunto, se puede inferir que el mayor rendimiento del híbrido X-304C se debió a su mayor período de llenado del grano y a su mayor tasa de crecimiento de la mazorca. En relación al P-8916 se encontró que ambos valores son menores lo que se traduce en un menor tamaño de la mazorca.

Efecto de la densidad

Las densidades promedio finales obtenidas en este ensayo para los cuatro cultivares fue de 3.62 y 7.39 pl/m², con rendimientos asociados de 4.30 y 4.82 t/ha, con algunas variaciones entre cultivares. La alta densidad redujo principalmente el tamaño de las mazorcas (de 112 a 69 g). Esta reducción del peso de la mazorca es la base de la relación exponencial del modelo de Duncan. De acuerdo a los resultados obtenidos y a los coeficientes de regresión logrados, observamos que el modelo de Duncan funciona correctamente y con alta precisión.

El Cuadro 3 muestra los principales parámetros de regresión obtenidos, así como la población de plantas que optimiza el rendimiento para cada variedad, según el nivel de N aplicado. Se observó que la densidad óptima de plantas aumentó considerablemente, cuando el nivel de N subió de 75 a 150 kg/ha, en ambos cultivares. Este resultado indica, que a densidades altas es necesario aumentar la dosis de N aplicada para lograr buenos rendimientos.

En ambos niveles de N se encontró que la población óptima de plantas es mayor en el X-304C. Esto se puede deber al tipo de arquitectura que presenta este híbrido, el cual es de hojas mas angostas, lo que se traduce, en un menor rendimiento de rastrojo al final de la cosecha, permitiendo un mayor número de plantas por hectárea.

De acuerdo a los resultados del análisis estadístico de este experimento, se observó una interacción significativa entre la Densidad con los Cultivares y entre la Densidad con la Dosis de N aplicada para las variables peso de mazorca, llenado de granos, ASI y mazorcas por planta (Cuadro 1).

Cuadro 2 Promedio de las principales características de los cultivares evaluados en el ensayo de densidad por nitrógeno.

Cult.	P-8916	X-304C
RendG	4.30	4.81
RendR	5.39	4.80
PMz	84.0	98.3
Mz/pt	1.04	1.00
LL G	42.4	44.5
ASI	1.67	1.62
Ind	41.3	44.8
Ef LL G	2.00	2.10
NHMz	13.8	13.8
NFH	19.8	19.0

En relación al peso de las mazorcas, se observó que el X-304C es el cultivar en donde la reducción del peso fue más pronunciada, al aumentar la densidad (diferencia de 52 g/maz), mientras el P-8916 presenta una reducción de menor magnitud (34 g/maz). En la duración del llenado de granos, se observó que todos los cultivares redujeron este período al aumentar la densidad (Cuadro 4).

Otro factor que se vio afectado por la densidad de plantas fue la sincronía floral (ASI), la cual aumentó al incrementarse la población de plantas. El material más susceptible al cambio de densidad fue el X-304C, el cual aumentó de 1.2 a 2.1 días, por el aumento de la densidad. Para el P-8916, a pesar de aumentar el período entre las dos floraciones (masculina y femenina) por el efecto de la densidad, este aumento fue menor a un promedio de 0.4 días. Cuando se analizó ASI a dosis de 150 kg N/ha, el aumento de la densidad ocasionó un aumento de ASI. Por el contrario este valor no se afectó con dosis baja de N (Cuadro 5). Este experimento mostró que ambos cultivares al aumentar la dosis de N aplicada, el valor del ASI, tiende a ser igual o ligeramente mayor. Por su parte, a densidades altas la sincronía foliar no es afectada al aumentar la dosis de N, es decir el período entre las dos floraciones no se incrementa al aumentar la dosis de N.

También se observó que cuando se evaluó en presencia de bajos niveles de N (75 kg de N/ha), el aumentar la densidad disminuyó el número de mazorcas por planta, es decir que se observó un mayor número de plantas sin mazorcas al momento de la cosecha, mientras que, cuando este elemento no es una limitante (150 kg N/ha), el aumento de la densidad no afectó este parámetro (Cuadro 5). Factores como el índice de cosecha y número final de hojas, número de hoja de la mazorca no se vieron afectados por los cambios en las densidades.

CONCLUSIONES

1. El modelo de Duncan (1958), basado en el decrecimiento exponencial del rendimiento por planta con la densidad, funcionó de manera adecuada.
2. La densidad redujo principalmente el tamaño de la mazorca de 112 a 69 g.
3. La densidad óptima de población de plantas depende directamente de la dosis de N aplicada. Siendo la población óptima más alta a medida que aumenta la dosis de N.

Cuadro 3. Parámetros de regresión entre el logaritmo del rendimiento por planta y la densidad de cuatro cultivares de maíz, según dos niveles de nitrógeno, Panamá 1993-1995.

75 kg N/ha				
Cultivar	Intercep	Pend	R ²	Opt
P-8916	5.388	-0.181	0.85	5.52
X-304C	5.437	-0.172	0.77	5.81
150 kg N/ha				
Cultivar	Intercep	Pend	R ²	Opt
P-8916	5.274	-0.153	0.83	6.53
X-304C	5.379	-0.149	0.84	6.71

Cuadro 4. Promedio de las principales características encontradas según Cultivar x Densidad, Panamá, 1993.1994.

Cultivares	Peso de Mazorcas (g)	
	Baja	Alta
P-8916	100.6	66.5
X-304C	124.2	72.4
Llenado de Grano (días)		
P-8916	42.4	42.3
X-304C	45.5	43.6
ASI (días)		
P-8916	1.5	1.8
X-304C	1.2	2.1
Mazorcas/planta		
P-8916	1.10	0.98
X-304C	1.02	0.99

Cuadro 5. Promedio de las principales características encontradas según cultivar x dosis de N, Panamá, 1993.1994.

	Peso de Mazorcas (g)	
	75 kg/N	150 kg/N
P-8916	81.2	87.0
X-304C	90.1	96.4
Llenado de Grano (días)		
P-8916	42.5	42.3
X-304C	45.5	43.6
ASI(días)		
P-8916	1.6	1.8
X-304C	1.6	1.7
Mazorcas/planta		
P-8916	1.04	1.01
X-304C	1.00	1.03

4. La sincronía floral mejoró, es decir, redujo los días entre las dos floraciones, a medida que se redujo la densidad.

5. El número de mazorcas por planta se redujo con el aumento de la densidad, sólo cuando el cultivo está sometido a un estrés de N. De no presentarse la deficiencia de este elemento, el número de mazorcas por planta no se afecta con el aumento de la densidad.

REFERENCIAS

Bolaños, J. y H. Barreto. 1991. Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz de 1990. En: Análisis de los Resultados Experimentales del PRM 1990, Vol. 2 pp 9-27.

Bolaños, J., J.Pérez, J.Zea, J.Quemé, M.Fuentes, C.Mendoza y G.López. 1993a. Dinámica y variabilidad de los componentes de rendimiento en 28 parcelas de maíz en Centro América. En: Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol.4 p 187-197.

Bolaños, J. 1993. Bases Fisiológicas del Progreso Genético en Cultivares del PRM. En: Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol.4 p 11-19.

Bolaños, J., M.Obando, R.Urbina y M.Mendoza. 1993b. Respuesta a densidad en cultivares del PRM. En: Síntesis de

los Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol.4 p 20-26.

Duncan, W.G. 1958. Corn response to density. *Agronomy Journal* 43:23-32.

Duncan, W.G. 1984. A theory to explain the relationship between corn population and yield *Crop Science* 24:1141-1145.

Fery, R.L. y J.Janick. 1971. Response of corn (*Zea mays* L.) to population pressure. *Crop Science* 11:220-224.

Fischer, K. and A.Palmer. 1984. Tropical maize In: P.R.Goldsworthy and N.M.Fischer (Eds). *The Physiology of Tropical Crops*, John Wiley and Sons, New York. p 231-248.

Gordón, R., et al. 1992. Evaluación de la respuesta física y económica al Nitrógeno Fósforo y Potasio en el cultivo de maíz en la Región de Azuero, Panamá 1991. En: Síntesis de los Resultados Experimentales del Programa de Maíz de Panamá 1991-1992. pp 135-141.

Gordón, R, et al. 1991. Evaluación de la respuesta física y económica al nitrógeno y fósforo en tres localidades de Azuero en el cultivo de maíz, Panamá 1990. En: Resultados de investigación 10 p (en edición).

Pandey, S. and C.Gardner. 1992. Recurrent selection for population, variety and hybrid improvement in tropical maize populations. *Crop Science* 48:1-87.

Respuesta del Maíz al Sistema de Siembra Intercalada con *Canavalia ensiformis* a Distintas Epocas de Siembra, Azuero, 1992-94

Román Gordón¹, Jorge Franco², Nivaldo de Gracia³ y Andrés González²

RESUMEN

Este trabajo resume 16 ensayos sembrados en los últimos tres años (tres en 1992, ocho en 1993 y cinco en 1994). En estos, sólo se seleccionaron tratamientos comunes, que incluyeron variaciones en la época de siembra de la canavalia con respecto al maíz. El objetivo fue de cuantificar y caracterizar las diferencias de un sistema intercalado con uno en monocultivo. Además de determinar el efecto de varios arreglos de canavalia, se trató de maximizar el rendimiento de la leguminosa y minimizar las pérdidas en el rendimiento del maíz. El rendimiento de maíz no se vió afectado por asocio con canavalia en ninguno de los sistemas evaluados. La siembra de canavalia en surcos alternos del maíz resultó ser la mejor alternativa, debido a que se logra un buen rendimiento de ambas especies, además de que por tener un surco sin leguminosas, se facilitan muchas labores que se realizan después de la siembra.

El asocio de gramíneas con leguminosas es una práctica que se ha realizado con muy buenos resultados desde hace mucho tiempo (Pieters 1916; Ofori y Stern, 1987). Entre los principales objetivos para realizar este asocio se puede mencionar el de reducir la erosión, tener una mayor disponibilidad de alimentos por unidad de área y disminución de riesgos, entre otros. Este tipo de asocio tiene algunos beneficios entre los que destacan la aportación de nitrógeno por fijación directa, aprovechamiento de la radiación para la producción de biomasa o abono verde, desaprovechada por el cultivo principal, reducción de la incidencia de malezas y la preservación y mejora en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Wade y Sánchez, 1983; Smyth et al., 1991; Zea, 1992a, 1992b).

Desde 1989 el IDIAP con apoyo del Programa Regional de Maíz (PRM) ha realizado experimentos para evaluar el asocio, relevo y rotación de leguminosas de cobertura dentro de los sistemas de

maíz. Datos obtenidos indican una tendencia marcada de las leguminosas de reducir el rendimiento de maíz en comparación con el monocultivo cuando estas se siembran de manera simultánea y en surcos alternos (Zea 1990, 1992a, 1992b, Barreto et al., 1992; López et al., 1993). Gordón et al. (1993) encontraron que el asocio simultáneo en surcos alternos de maíz con canavalia es una alternativa para estos sistemas, debido a la poca reducción del rendimiento de maíz en comparación con monocultivo (menos de 200 kg/ha). De las leguminosas intercaladas en asocio temprano con el maíz, la canavalia presentó características agronómicas sobresalientes por su menor competencia y menor variabilidad a través de los ambientes evaluados (Zea 1992a; 1992b; Barreto et al., 1991). La siembra del maíz en Azuero se caracteriza por ser generalmente en monocultivo con pastoreo del rastrojo en la época seca (enero a mayo) por parte del ganado. Debido a la baja calidad del forraje del maíz, la práctica de siembras intercaladas de leguminosas con maíz puede ser una buena alternativa para esta zona. Este trabajo se realizó para cuantificar y caracterizar las diferencias en producción de un sistema intercalado en comparación con monocultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados provienen de 16 ensayos, tres en 1992, ocho en 1993 y cinco en 1994 (Cuadro 1). De todos los tratamientos que se evaluaron en estos ensayos se seleccionaron los tratamientos de interés, que incluyeron variaciones en la época de siembra de la leguminosa con respecto a la siembra del maíz.

En cada año se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. En 1992 y 1993 las parcelas experimentales consistieron de 6 surcos de 5 m de largo. En 1994 el tamaño de las parcelas fue de 10 surcos de 10 m de largo. El cultivar de maíz utilizado en once de estos experimentos fue el P-8916, mientras que en los cinco restantes se utilizó la variedad Guararé 8128. En todos los casos la semilla de maíz fue tratada con el insecticida furatiocarb a razón de 8 gr i.a./ha.

¹ Ing Agrónomo, M.Sc., ² Ing. Agrónomo, ³ Agrónomo. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro Regional Agropecuario de Azuero.

Cuadro 1. Características generales de los ensayos utilizados para el análisis del efecto de la época de siembra en el asocio de maíz y canavalia.

Año	No Ensayos	No Trat	Cultivar	Localidad	Tamaño Parcela
1992	3	5	P-8916	La Honda, Las Tablas, Parita	6 surcos de 5.0m
1993	5	8	G-8128	Nalu, Pedregoso, La Madera	6 surcos de 5.0m
1993	3	8	P-8916	El Pedernal, La Enea, El Ejido	6 surcos de 5.0 m
1994	5	3	P-8916	Chitré, El Ejido, Parita, Guarare, La Enea	10 surcos de 10.0m
Total	16				

El maíz fue sembrado a 0.9 m entre hileras y 0.5 m entre golpes, dejando dos semillas por golpe para una densidad teórica de 4.4 pl/m². La fertilización consistió de 227 kg de 15-30-8/ha al momento de la siembra más 227 kg de urea/ha a los 30 días después de la siembra (dds). El control de malezas se realizó con la mezcla de pendimetalina más atrazina a razón de 2.0 + 2.0 l/ha en algunas localidades, mientras que en otras se aplicó glifosato a razón de 4.0 l/ha, dependiendo del complejo de malezas presente en los lotes experimentales.

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

1. *Surcos Alternos 0 dds (SA)*: La canavalia se sembró el mismo día que el maíz en surcos alternos (un surco con canavalia y otro libre) a una distancia entre golpes de 0.5 m y dejando dos semillas por golpe, para una densidad teórica de 2.2 pl/m².
2. *Surcos Continuo 0 dds (SC0)*: La canavalia se sembró el mismo día que el maíz en el centro de todos los surcos a una distancia entre golpes de 0.5 m y dejando dos semillas por golpe, para una densidad teórica de 4.4 pl/m².
3. *Surcos Continuo 15 dds (SC15)*: La canavalia se sembró 15 días después de la siembra del maíz en el centro de todos los surcos a una distancia entre golpes de 0.5 m y dejando dos semillas por golpe, para una densidad teórica de 4.4 pl/m².
4. *Surcos Continuo 30 dds (SC30)*: La canavalia se sembró 30 días después de la siembra del maíz en el centro de todos los surcos a una distancia entre

golpes de 0.5 m y dejando dos semillas por golpe, para una densidad teórica de 4.4 pl/m².

5. *Monocultivo (SLeg)*: Parcela sin asociación con leguminosas.

Al momento de la cosecha se tomaron datos del rendimiento de grano, número de plantas y mazorcas cosechadas, rendimiento de materia seca del rastrojo y el porcentaje de humedad del grano, de la parcela efectiva (4 surcos centrales). También se midió el peso de la materia verde y número de plantas de la canavalia a la cosecha del maíz y luego se tomó una muestra para determinar la humedad y calcular el peso seco de cada parcela. Para la materia seca de la canavalia se usaron los dos surcos centrales.

Para el análisis de los datos de rendimiento de grano y de materia seca de la canavalia, se realizó una prueba de homogeneidad de varianza entre todas las localidades. Luego se tomó el promedio de los tratamientos de interés y se realizó un análisis de varianza, tomando como covariable el rendimiento promedio de maíz de las localidades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de rendimiento mostraron que el potencial de todas las localidades fue diferente, siendo alto en unas y bajo en otras. Tomando en cuenta que todos los tratamientos no fueron evaluados en todas las localidades, el promedio de cada uno de los tratamientos estuvo afectado por esta situación. De tal manera, que se favorecieron principalmente a los tratamientos SC15 y SC30, que no fueron evaluados en varias localidades de potencial bajo (Cuadro 2).

Para corregir este efecto de potencial de rendimiento, se realizó un análisis de varianza tomando al rendimiento promedio de la localidad como covariable. Este análisis resultó altamente significativo, por lo que se procedió a calcular las Medias Ajustadas o Medias por el método del Mínimo Cuadrado.

El Cuadro 3 muestra el rendimiento de maíz ajustado (de acuerdo al análisis de covarianza) y sin ajustar, rastrojo y algunos componentes del rendimiento del cultivo. Además se presentan los resultados del rendimiento, biomasa total y población de canavalia obtenidos por efecto de los distintos tratamientos.

Cuadro 2. Rendimiento de grano por localidad y por tratamientos utilizados para analizar el efecto de la época de siembra en el asocio maíz mas canavalia.

Localidad	Prom Loc.	SA	SC0	SC15	SC30	SLeg
La Honda '92	2.07	1.94	1.48	2.34	2.31	2.30
Las Tablas'92	4.98	5.27	4.74	4.85	5.08	4.90
Parita '92	4.99	5.27	4.70	4.89	5.12	5.04
Pedernal '93	3.22	3.22*		3.36*		3.35*
La Enea'93	5.45	5.41*		5.42*		5.44*
El Ejido '93	4.11	3.76*		4.33*		4.66*
Nalu '93a	4.24	5.10**	4.60**			4.84**
Nalu '93b	3.15	3.24*	2.85*			3.33*
La Madera'93a	2.68	3.15**	3.04**			2.83**
La Madera'93b	3.42	3.03*	3.08*			3.66*
Pedregoso'93	2.80	4.60**	4.89**			3.40**
Chitre '94	4.89	4.91			4.88	4.89
Parita '94	3.70	3.92			3.64	3.53
Guarare '94	3.16	3.01			3.39	3.07
El Ejido '94	3.27	3.11			3.58	3.11
La Enea '94	3.72	3.31			4.49	3.36
Prom No Ajustado		3.78	3.47	4.25	4.06	3.96
Desviación Estándar		1.00	0.95	1.06	0.99	0.97
No Observaciones		27	16	9	8	19

* Dato proviene de dos Promedios

** Dato proviene de tres Promedios

Cuadro 3. Rendimiento ajustado por covarianza, rendimiento sin ajustar y algunos componentes del rendimiento del cultivo de maíz y canavalia, según tratamientos, Azuero, 1992-94.

Sistema	Rend Ajustado	Rend sin Ajustar	Maíz		Peso maz (g)	MxP	Rend Rastrojo
			pl m ²	mz m ²			
SA	3.83	3.78	4.43	4.12	89.7	0.92	4.48
SC0	3.70	3.47	3.99	3.73	91.1	0.91	4.59
SC15	3.93	4.25	5.24	4.69	90.4	0.87	5.27
SC30	3.97	4.06	4.62	4.40	92.1	0.91	4.09
SLeg	3.93	3.95	4.70	4.33	90.3	0.92	4.72
Canavalia							
	Rend (t/ha)	Ptm ²	Biom (Maíz+Can) (t/ha)		kg de N/ha		
SA	2.80	1.83	7.28		91.0		
SC0	5.21	3.22	9.80		169.3		
SC15	1.82	4.83	7.09		59.1		
SC30	0.75	1.65	4.84		24.3		

Efecto en el Rendimiento de Maíz

Al realizar el análisis estadístico para la variable rendimiento de grano se encontró que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que la covarianza fue altamente significativa (Cuadro 4). Esto indica que el rendimiento de maíz no se vió afectado por el asocio con canavalia en ninguno de los sistemas, ya que no redujo significativamente los

rendimientos en comparación con el testigo. Los datos muestran que en el sistema de siembra de la canavalia, sea en Surcos Continuos o Alternos, al momento de la siembra de maíz (0 dds) es la que mas redujo en los rendimientos del cultivo. En estos tratamientos se detectó el menor rendimiento, respectivamente, 3.70 y 3.83 t/ha. A medida que se retarda la siembra de la canavalia con respecto al maíz en Surcos Continuos, los rendimientos del cultivo aumentaron de 3.70 a 3.97

t/ha, para ambos sistemas respectivamente (SC0 a SC30). Si se observan los distintos componentes del rendimiento, se concluye que el tamaño de mazorca es el que mejor explica este aumento en el rendimiento final del maíz.

Efecto en el rendimiento de Canavalia

La época de siembra de la canavalia tuvo un marcado efecto en el rendimiento final de materia seca de esta. Los resultados son contrarios a los encontrados en el rendimiento de maíz, es decir, los mayores rendimientos se obtienen en las siembras al inicio del cultivo, ya sea en SC o SA con 5.21 y 2.80 t/ha, respectivamente. A medida que la siembra de la canavalia se retrasa, el rendimiento disminuye hasta alcanzar un valor menor de 1.0 t/ha, en las siembras de SC30. Este bajo rendimiento se puede explicar por dos factores, uno es por la menor disponibilidad de radiación para la canavalia, debido al sombreado por parte del maíz. El otro factor que incide es la disminución de la humedad disponible para la canavalia, ya que, las lluvias se suspenden al final del mes de noviembre, cuando la leguminosa tiene menos de dos meses.

En relación a la biomasa general del sistema, se encontraron diferencias altamente significativas. Esta biomasa esta conformada por la suma del rastrojo de maíz mas la materia seca de la leguminosa. En este sentido todos los sistemas que involucran la canavalia, exceptuando el SC30, superan en mas de 3.0 t/ha al sistema SLeg, lo cual se refleja en una mayor y mejor disponibilidad de alimentos para el ganado en la época seca. También se puede reflejar ganancias si se transforma el equivalente de materia seca en aportes de N al sistema, el cual va de 24 a 169 kg N/ha.

Al analizar los resultados encontrados, para obtener una recomendación en donde se optimice el rendimiento de los dos cultivos, y por ende las ganancias del productor; se tiene que el sistema Surcos Alternos Odds, resultó ser la mejor alternativa. En este sistema se logra un buen rendimiento de ambas especies, además de que por tener un surco libre o surco sin leguminosas, se facilitan muchas labores que se realizan después de la siembra. Entre estas labores está las aplicaciones secundarias de abono nitrogenado y la cosecha final del maíz. En los sistemas en Surcos Continuos esta última labor es muy afectada, lo que implica un mayor costo en la mano de obra para la cosecha.

Cuadro 4. Análisis de varianza del rendimiento de grano y de materia seca de canavalia, Azuero 1992-94.

Fuente de Variación	g.l.	Suma de Cuadrados	
		Rend Maíz	Rend Canavalia
Trata	4	0.155	63.38**
RenLoc(Cov)	1	35.39**	
Error		0.501	3.69
C.V. (%)		18.37	30.05

** significancia al 0.1%

CONCLUSIONES

1. No se observaron diferencias estadísticas entre los cuatro sistemas de asocio versus el maíz en monocultivo.
2. Se observó una tendencia de aumentar los rendimientos de maíz a medida que la siembra de la canavalia se retrasa de la siembra del maíz.
3. El rendimiento de materia seca de canavalia se reduce a medida de la época de siembra de la misma se aleja de la siembra del maíz.
4. Se recomienda el sistema de asocio de maíz mas canavalia en Surcos Alternos, por ser el que permite una maximización del rendimiento de las dos especies y afecta menos las otras labores en el desarrollo del cultivo.

REFERENCIAS

- Barreto, H., G. Sain, W. Raun y J. Bolaños. 1991. Los ensayos regionales del programa de maíz para Centro América y el Caribe. p.1-8, en Análisis de los Ensayos Regionales de Agronomía, PRM-CIMMYT, Guatemala.
- Gordón, R., N. De Gracia, J. Franco, A. González y J.Bolaños. 1993. Asocio del maíz con canavalia a distintas épocas y arreglos de siembra en Azuero, Panamá, 1992-93. p.102-106 en Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4. CIMMYT-PRM, Guatemala.
- Ofori, F. y W. R. Stern. 1987 Cereal legume intercropping systems. Adv.Agron.41:41-89.
- Pieters, A. J. 1916. Green Manuring: a review of the American Experiment Station literature. J.Amer.Soc.Agron. 8:62-126.

Smyth, T. J., M.S. Cravo y R. J. Melgar. 1991. Nitrogen supplied to corn by legumes in a Central Amazon oxisol Trop. Agricult. (Trinidad) 68(4):366-372.

Wade, M.K. y P. Sanchez. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon Basin. AgronJ. 75:39-45

Zea, J. L. 1992a. Efecto de intercalar leguminosas con diferentes dosis de P sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) Agronomía Mesoamericana 3:16-22.

Zea, J. L. 1992b. Efecto residual de intercalar leguminosas sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en nueve localidades de Centro América. p.97-103, en Síntesis de resultados experimentales 1991, CIMMYT-PRM, Guatemala.

Evaluación del Sistema de Asocio y/o Rotación del Maíz y Canavalia en Dos Epocas de Siembra, Panamá, 1993-1994

Román Gordón¹, Jorge Franco², Andrés González², Nivaldo de Gracia³ y Adys P. de Herrera⁴

RESUMEN

Se realizó un experimento durante dos años consecutivos, en dos localidades de Panamá donde se evaluaron diferentes arreglos y rotaciones del maíz y canavalia. El objetivo fue cuantificar y caracterizar las diferencias de un sistema en asocio y monocultivo y además determinar el efecto residual de la canavalia en el rendimiento de maíz. La canavalia se sembró en medio de los surcos de maíz en surcos continuos (SC) y surcos alternos (SA) de manera simultánea a la siembra del maíz. La población teórica de canavalia fue de 2.2 y 4.4 pl/m², para las siembras en SA y SC, respectivamente. El maíz fue sembrado a 0.9 m entre plantas y 0.5 m entre golpes para una densidad de 4.4 pl/m². La siembra de primera fue fertilizada con 136 kg de 15-30-8 /ha más 136 kg de urea/ha. En las siguientes siembras todos los tratamientos recibieron abono completo al momento de la siembra, con excepción del testigo del agricultor que recibió la segunda aplicación de urea. Los resultados indican que el rendimiento de grano no es afectado por el asocio con canavalia. La producción de materia seca de la canavalia fue mayor en monocultivo en primera, seguidos por las parcelas en surcos continuos y surcos alternos. Se observó un efecto residual positivo al dejar los residuos de canavalia de una época de siembra a la otra.

El uso de leguminosas como abono verde es un método que se utiliza desde hace muchos años. Trabajos realizados por investigadores, informan de los beneficios de incorporar leguminosas de cobertura con el fin de aportar nitrógeno al sistema mediante la fijación biológica (Wade y Sánchez, 1983; Yost et al., 1985; Barreto et al., 1992). Bouldin et al. (1989) encontraron que se pueden sustituir hasta 170 kg N/ha, utilizando leguminosas de cobertura. El uso de la *Canavalia ensiformis* (canavalia) y *Mucuna deeringianum* (mucuna) como abono verde fue estudiado por Barreto et al. (1992). Ellos reportan que el factor que permitió relacionar la respuesta a N bajo sistemas de abono verde, fue la cantidad de N

almacenado en la biomasa superficial de cada una de las leguminosas estudiadas.

Durante 1992, se realizó un experimento en donde se evaluaron las leguminosas mucuna y canavalia, sobresaliendo esta última. El resultado de este ensayo indicó que el rendimiento de maíz en las parcelas en rotación con canavalia superaron a las parcelas sin leguminosas en 1.85 t/ha. El análisis económico de este ensayo determinó que la dosis óptima de N para aplicar en este sistema es de 54 kg/ha, mientras que en las parcelas que no tenían leguminosas en relevo el óptimo fue de 139 kg/ha, produciendo un ahorro de 85 kg de N/ha (Gordón et al., 1993a).

Desde 1989, el Programa Regional de Maíz (PRM), ha realizado experimentos para evaluar el asocio, relevo y rotación de leguminosas de cobertura dentro de los sistemas de producción de maíz. Datos obtenidos indican una tendencia marcada de la leguminosas de reducir el rendimiento de maíz en comparación con monocultivo cuando éstas se siembran de manera simultánea al cultivo y en surcos continuos (Zea, 1990; Zea et al., 1992a y 1992b; Barreto et al., 1991). Gordón et al. (1993b) encontraron que el asocio simultáneo en surcos alternos de canavalia con maíz es una alternativa para estos sistemas, debido a la poca reducción del rendimiento de maíz en comparación con monocultivo.

El sistema de siembra del maíz en Azuero se ha caracterizado por el monocultivo y luego pastorear los residuos de la cosecha durante la época seca (enero a mayo). Herrera et al. (1993), indican que el rastrojo de maíz asociado con canavalia mejora el consumo de forraje y el aumento de peso del ganado, en comparación con animales que consumieron solamente forraje de maíz. Hasta el presente, la siembra de leguminosas se ha utilizado en parcelas puras como banco de proteína. Debido a la baja calidad del forraje de maíz en la época seca, la práctica de siembras intercaladas con leguminosas, puede ser una buena alternativa para esta región.

El presente trabajo tiene como objetivo identificar el sistema asocio/rotación que mejor se adapte a las condiciones del productor, de manera que se maximice

¹ Ing. Agrónomo, M.Sc., ²Ing. Agrónomo, ³Agrónomo, ⁴Lic. Economía, M.Sc., Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro Regional Agropecuario De Azuero.

el rendimiento total del cultivo (la producción total de las dos siembras) y reduzca la utilización del N en forma de urea. Entre los objetivos específicos está: 1) cuantificar las diferencias en producción de un sistema intercalado en comparación con monocultivo; 2) determinar el efecto residual de la canavalia en el maíz de segunda; y 3) evaluar el efecto de dos arreglos de canavalia (surcos continuos y surcos alternos) sobre el rendimiento del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron ocho ensayos en los dos años que duró el experimento. En ambos años se sembraron dos ensayos por cada época de siembra. Las localidades en donde se llevaron a cabo estos experimentos, están ubicadas en áreas de influencia del Programa Regional de Reforzamiento a la Investigación Agronómica sobre los Granos Básicos (PRIAG) en Panamá (Nalú y La Madera). Los ensayos de primera coa fueron sembrados en la segunda quincena de mayo y cosechados en la primera semana de septiembre. Los ensayos de segunda coa fueron sembrados en la última semana de septiembre y cosechados al final de enero del siguiente año.

Se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de una parcela de seis surcos de maíz de 5.5 m de largo, separados a 0.9 m entre sí y dos plantas por golpes a 0.5 m, para obtener una densidad teórica de 4.4 pl/m². En total se establecieron ocho tratamientos, en donde se evaluaron diferentes combinaciones de rotación y asocio de maíz más canavalia, además de parcelas en monocultivo (Cuadro 1).

La canavalia se sembró de manera simultánea en medio de los surcos de maíz en surcos alternos (SA) y surcos continuos (SC). La población teórica de canavalia fue 2.2 y 4.4 pl/m², para las siembras en SA y SC, respectivamente. Esto se consiguió sembrando la canavalia a dos plantas por golpe separados a 0.5 m entre sí.

Los tratamientos de la primera coa fueron cosechados al final del período, sacándose todo el grano y la tuza de la parcela. Luego se procedió a cortar tanto las plantas de maíz como las de canavalia (según cada tratamiento) y se dejó todo este forraje (de ambas especies) sobre la superficie del suelo. Dos semanas después de la cosecha, se sembraron los tratamientos de la segunda coa. Se trató que los golpes de maíz de la segunda siembra, coincidieran con los de

la primera época. Todos los tratamientos en primera coa recibieron 136 kg de 15-30-8/ha al momento de la siembra más 136 kg de N en forma de urea a los 30 a 35 días después de la siembra (dds). Los tratamientos de segunda coa (residuales), sólo recibieron 136 kg de 15-30-8/ha al momento de la siembra, a excepción del T₈ que recibió la segunda aplicación de 136 kg N en forma de urea por hectárea.

La variedad de maíz utilizada fue Guararé 8128, la cual fue tratada con el insecticida furatiocarb a razón de 8 g i.a./kg de semilla. Se utilizó el sistema de siembra bajo labranza de conservación en todas las épocas. Se tomó una muestra de suelo (20 cm de profundidad) antes de la siembra de cada ensayo (Cuadro 2).

Se determinó el rendimiento de maíz y sus componentes (plantas y mazorcas cosechadas, peso de mazorcas, mazorcas/planta, índice de cosecha y biomasa total producida) en los cuatro surcos centrales de cada parcela. La biomasa seca del maíz se encontraba al 15% de humedad para el cálculo de peso seco y la biomasa equivalente por unidad de área. El índice de cosecha se calculó como la fracción del grano en la biomasa total, después de descontar la tuza y estandarizar a 0% de humedad. Se midió además el rendimiento de canavalia (peso húmedo) y el número de plantas cosechadas por parcela en los dos surcos centrales (siembras en SC) y en el surco central (siembras en SA). A la cosecha del maíz se tomó una muestra de canavalia, para determinar el porcentaje de humedad al momento del corte y su contenido de nitrógeno.

Cuadro 1. Estructura de tratamientos evaluados en el ensayo de asocio/rotación de maíz canavalia, Panamá, 1993-94.

Trat	1993		1994	
	I ^a Coa	II ^a Coa	I ^a Coa	II ^a Coa
1	SA ¹	SA	SA	Mono
2	SA	SC	SA	Mono
3	SC ²	SA	SC	Mono
4	SC	SC	SC	Mono
5	SA	Mono	SA	Mono
6	SC	Mono	SC	Mono
7	Can ³	Mono	Can	Mono
8	Mono ⁴	Mono	Mono	Mono

¹SA = Surcos Alternos

²SC= = Surcos Continuos

³Can = Canavalia en monocultivo

⁴Mono= Maíz en Monocultivo

A los datos se les realizó un análisis de varianza por localidad y uno combinado, luego de realizarse un análisis de homogeneidad de varianzas a las variables de rendimiento de grano en cada período (coa). Para separar las medias, se utilizó el método de diferencias pareadas o contrastes no ortogonales entre tratamientos de interés. Se realizó una correlación entre todas las variables de respuesta en cada localidad por coa. Se tomaron datos de precipitación en cada localidad (Cuadro 3).

Se efectuó un análisis económico de presupuesto parcial para medir a corto plazo los beneficios y costos asociados a la incorporación de la canavalia en el sistema de producción del maíz, considerando solamente los efectos sobre el rendimiento de maíz (CIMMYT, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 4 presenta las medias de rendimiento y algunos de sus componentes, del promedio combinado de las localidades de Nalú y La Madera en las cuatro siembras realizadas en este experimento. Los datos muestran que en ambos años, el rendimiento de grano fue mayor en primera coa (3.95 vs 3.29 y 2.99 vs 1.78 t/ha) (Cuadro 4). Este resultado puede explicarse, por la interacción entre la distribución de lluvias que se presentó en ambas localidades y el ciclo de la variedad utilizada en este experimento (ciclo de vida de 110 días

a madurez fisiológica). Cuando se sembró en primera coa, el maíz completó de manera normal su ciclo con la precipitación registrada de mayo a agosto. En las siembras de segunda coa la fase que va de emergencia hasta floración (20 de septiembre al 15 de noviembre) todos los ensayos recibieron una precipitación mayor de 290 mm. Para esta misma siembra la fase de llenado de grano hasta madurez fisiológica (15 de noviembre a enero) recibió menos de 100 mm de lluvia en tres de los experimentos (Nalú '93 y '94, La Madera '94), lo que tuvo una incidencia directa en la reducción del rendimiento obtenido. Este efecto en el rendimiento de segunda coa, se observó con mayor incidencia en 1994 (reducción de 1.54 t/ha), ya que las lluvias fueron más erráticas a partir de la segunda quincena del mes de noviembre (cinco y dos días con precipitación para Nalú y La Madera, respectivamente) y en diciembre prácticamente fueron nulas (26.7 y 2.50 mm para Nalú y La Madera, respectivamente) (Cuadro 3). Para el análisis del efecto de los tratamientos, se tomó en cuenta los resultados del análisis combinado de las localidades de Nalú y La Madera. En el Cuadro 5 se observa el análisis de varianza combinado para el rendimiento de las dos coas en ambos años.

Efecto del asocio simultáneo

Los resultados obtenidos en los ensayos de primera coa, indican que el rendimiento de grano no es

Cuadro 2. Análisis de los suelos donde se llevaron a cabo los experimento, Panamá 1993-94

Loc's	pH	P	K	Mg	Ca	Al	%MO	Fe	Zn	A-I.-Ar
Nalú(1)	5.0	1.6	117.5	8.2	20.8	0.3	3.50	4.0	0.9	34-20-46
Nalú(2)	5.2	1.5	106.0	0.1	1.75	0.2	3.75	1.6	0.3	32-20-48
Nalú(3)	5.7	2.2	86.0	0.6	1.7	0.2	3.90	4.2	0.2	32-18-50
Madera(1)	6.2	9.1	180.3	0.4	0.8	tr	4.37	8.1	2.6	42-30-28
Madera(2)	5.6	2.1	168.5	0.8	2.4	0.1	4.96	1.8	0.9	44-24-32
Madera(3)	6.0	1.8	251.0	0.7	2.1	0.1	4.70	2.7	1.0	44-24-32

Cuadro 3. Precipitación pluvial registrada en Nalú y La Madera durante los años 1993 y 1994

Localidades	Días	Jun.	Jul.	Ago	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Nalú(93)	1-15	0.0 (0) ¹	71.4 (7)	60.1 (3)	39.0 (6)	75.0 (3)	177.2 (6)	8.8 (3)
	16-31	18.8 (3)	58.8 (6)	63.6 (3)	76.3 (5)	13.8 (2)	82.6 (6)	5.0 (2)
Nalú(94)	1-15	49.5 (4)	53.3 (4)	52.1 (5)	44.4 (5)	91.4 (11)	203.2 (12)	26.7 (3)
	16-31	63.4 (7)	33.0 (4)	44.4 (6)	147.3 (13)	84.6 (9)	59.0 (5)	0.0 (0)
Madera(93)	1-15	62.5 (4)	17.5 (2)	68.8 (4)	105.2 (6)	38.8 (4)	46.3 (4)	63.9 (6)
	16-31	85.2 (6)	18.9 (3)	102.7(8)	117.7 (6)	87.8 (7)	152.7(8)	16.3 (1)
Madera (94)	1-15	72.4 (7)	55.9 (4)	130.8(7)	80.0(6)	219.7 (12)	128.3 (6)	0.0 (0)
	16-31	15.2 (2)	26.7 (6)	20.3 (6)	193.1 (9)	53.4 (8)	8.9 (2)	2.5 (1)

Cuadro 4. Rendimiento de grano, mazorcas por m² y peso de mazorca de los ensayos combinados de Nalú y La Madera, Panamá, 1993-94.

Trat	Rend Grano (t/ha)				Mazorcas/m ²				Peso Mazorca (g)			
	I '93	II '93	I '94	II '94	I '93	II '93	I '94	II '94	I '93	II '93	I '94	II '94
SA/SA	3.99	3.16	3.13	1.59	3.77	3.86	3.66	3.07	104.6	81.9	85.4	51.7
SA/SC	4.16	2.80	3.16	1.63	3.90	3.85	3.70	3.20	104.6	73.0	85.4	50.9
SC/SA	3.74	3.10	2.70	1.54	3.75	3.96	3.66	3.22	99.1	77.8	73.8	47.7
SC/SC	3.62	3.12	2.91	1.95	3.66	3.75	3.67	3.43	99.0	82.8	43.6	57.0
SA/M	4.22	3.38	2.86	1.68	3.54	4.02	3.64	3.21	109.4	83.6	43.0	52.3
SC/M	4.09	3.51	2.86	1.96	3.89	4.00	3.64	3.45	103.5	87.6	78.5	56.8
C/M	0.00	3.73	0.00	2.21	0.00	3.92	0.00	3.35	0.0	95.2	0.0	66.0
M/M	3.84	3.50	3.29	1.66	3.73	3.92	3.74	3.29	100.5	89.0	88.1	50.6
Prom.	3.95	3.29	2.99	1.78	3.75	3.91	3.67	3.28	102.9	83.9	71.1	54.1

afectado por la asociación de la canavalia, ya que, el rendimiento en las parcelas con SA (T₁+T₂+T₅) y SC (T₃+T₄+T₆), tuvieron una producción promedio de 4.13 y 3.82 t/ha en 1993 y de 3.05 y 2.83 t/ha en 1994, respectivamente; mientras que la parcela en monocultivo tuvo un rendimiento de 3.84 y 3.29 t/ha (Cuadro 6). El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre las parcelas asociadas y las parcelas no asociadas.

En el ensayo de segunda coa de 1993, se observó un mayor rendimiento en las parcelas en monocultivo que venían de la rotación con canavalia en la primera coa (T₅+T₆) con 3.44 t/ha, en comparación con las parcelas de SC (T₁+T₃) y SA (T₂+T₄) con 2.96 y 3.13 t/ha, respectivamente. Estas diferencias fueron de aproximadamente 310 y 480 kg/ha, las mismas fueron significativas al 10 y 5%, respectivamente.

También se encontró que en las tres primeras siembras (las dos de 1993 y la primera de 1994), las parcelas con SA superaron en 310, 170 y 220 kg/ha a las parcelas en SC. De los componentes del rendimiento, el peso de las mazorcas es el que explica mejor las diferencias, ya que, presentaron diferencias al 5% de probabilidad (Cuadro 7). Ambos tipos de asocio no reducen la población de plantas ni el número de mazorcas cosechadas. Resultados similares fueron reportados por Gordón et al. (1993b).

Producción de materia seca de la canavalia

El Cuadro 8 muestra las medias de rendimiento de canavalia y sus componentes asociados, para las tres primeras épocas de siembra. La media del rendimiento de materia seca en las parcelas en monocultivo de la canavalia (T₇) en la primera coa fue de 15.59 y 5.76 t/ha (1993 y 1994), y ésta superó significativamente (P<0.01) a la producción en las parcelas de SA

(T₁+T₂+T₅) y SC (T₃+T₄+T₆). A pesar que el número de plantas de la leguminosa fue el doble en las parcelas de SC, la diferencia en rendimiento de materia seca entre ésta y las parcelas SA, fue menor de la mitad, lo que indica, que el rendimiento en las parcelas SA es mayor por unidad de área. Esta mayor producción por área se puede deber a la menor competencia y mayor espacio libre en los surcos sin canavalia que tienen el sistema en SA. El análisis químico de las muestras de canavalia en laboratorio indicó que el contenido promedio de N en las mismas fue de 3.2 %. De acuerdo a este análisis, las cantidades de N aportados por la biomasa de la canavalia al sistema para la segunda coa fue de 499, 154 y 231 kg N/ha, para las parcelas de canavalia, SA y SC, respectivamente (Cuadro 8).

Cuadro 5. Análisis de varianza de rendimiento de grano del combinado Nalú y La Madera, Panamá 1993-94.

Fuente	g.l.	Cuadrados Medios			
		I '93	II '93	I '94	II '94
Loc.	1	29.35	0.876	0.496	0.971
Rep(L)	4	1.453	1.010	2.195	0.891
Trat	7	0.709	0.272	6.916	0.335
LxTrat	7	11.97	0.521	0.091	0.073
Error	28	0.231	0.161	0.268	0.137
C.V.		13.9	12.2	19.8	20.8

Cuadro 6. Rendimiento de grano de las parcelas según el tipo de asocio en el combinado Nalú y La Madera, en las dos coas, Panamá, 1993-94

Sistema	Trat	Rend (t/ha)	
		I '93	I '94
S.Alterno	1, 2 y 5	4.13	3.05
S.Continuo	3, 4 y 6	3.82	2.82
Maíz (mono)	8	3.84	3.29
		II '93	
S.Alterno	1 y 3	3.13	
S.Continuo	2 y 4	2.96	
Maíz (mono)	5 y 6	3.44	

Cuadro 7. Análisis de varianza de Peso de Mazorca del combinado Nalú y La Madera, Panamá 1993-94.

Fuente	g.l.	Cuadrados Medios			
		I '93	II '93	I '94	II '94
Loc.	1	12284	100	1778	3175
Rep(L)	4	190	373	889	949
Trat	7	37	98	150*	200*
LxTrat	7	83	281	72	41
Error	28	114	76	128	94
C.V.		10.4	10.4	14.8	17.4

En la segunda coa la producción de biomasa de la canavalia fue menor. En las parcelas con SA el rendimiento fue de 2.55 t/ha, mientras que, en las parcelas SC fue de 3.57 t/ha. Esta producción de biomasa, implica que el sistema de asocio, dejó disponible para el siguiente ciclo de cultivo (mayo 1994) 82 y 114 kg de N/ha, para los sistemas SA y SC, respectivamente; o en su defecto, materia seca disponible para la alimentación del ganado en la época seca.

Sosa et al. (1993) encontraron una fuerte relación negativa entre el efecto del mantillo y las aplicaciones de N, en las siembras bajo labranza de conservación, utilizando como mantillo el rastrojo de maíz. El sistema de dejar los residuos de la cosecha del maíz para la segunda siembra representa un potencial de inmovilizar parte del N disponible para la planta. Dicha limitante para la planta de maíz en la segunda coa, puede reducirse en los sistemas en que el aporte de N de la leguminosa es alto, de tal manera, que el N que necesitan las bacterias que realizan la descomposición del tallo y hojas del maíz, son suplidos por la leguminosa.

Cuadro 8. Rendimiento de canavalia (t/ha) y población de plantas, en los tratamientos según sistema de asocio en el combinado Nalú y La Madera, Panamá 1993-94.

Sistema	Trat	Canavalia	Maíz	Canavalia	Maíz	Canavalia	Maíz
		Prod. en Iª Coa'93	Prod. en IIª Coa'93	Prod. en IIª Coa'93	Prod. en Iª Coa'94	Prod. en Iª Coa'94	Prod. en IIª Coa'94
SA	1, 2 y 5	4.81	3.11			1.37	1.63
SC	3, 4 y 6	7.22	3.24			2.35	1.82
CM	7	15.59	3.73			5.76	2.21
MM	8	0	3.50			0	1.66
SA2	1 y 3			2.55	2.92		
SC2	2 y 4			3.57	3.04		

Efecto residual de la rotación de canavalia y maíz

De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontró que hubo una respuesta positiva a la rotación de la canavalia y el maíz. El análisis de correlación mostró que hubo una relación positiva de 43 y 45% entre las variables rendimiento de canavalia en primera coa y la producción de grano y peso de las mazorcas en la segunda coa, respectivamente. Este efecto se observó en el rendimiento obtenido en la segunda época, en aquellas parcelas que en la primera coa se sembraron con canavalia, ya sea, en monocultivo (T_7), SA (T_1 , T_2 y T_3) y SC (T_3 , T_4 y T_6) en comparación con la parcela que en ambos ciclos se sembró de maíz en monocultivo (T_8).

El mayor rendimiento en segunda coa, se obtuvo en la parcela con rotación de canavalia seguida de maíz (T_7), con 3.73 y 2.21 t/ha, para 1993 y 1994, respectivamente. Este rendimiento superó al monocultivo (T_8) en el primer año en 230 kg/ha y la diferencia aumentó a 550 kg/ha, en el segundo año. También se observó que los tratamientos sembrados en segunda coa de manera residual en las parcelas con SC ($T_3+T_4+T_6$) superaron a las parcelas que siguieron al SA de primera coa ($T_1+T_2+T_3$). Este aumento fue de 130 kg/ha en 1993 y luego el mismo se elevó a 190 kg/ha para 1994.

En los tratamientos de primera coa de 1994 que seguían a las parcelas SC de 1993 (T_2+T_4) se observó un aumento de rendimiento de 120 kg/ha en relación a los tratamientos que siguieron a las parcelas en SA de 1993 (T_1+T_3) siguieron en 120 kg/ha (Cuadro 9). Esta mayor respuesta se puede atribuir a que existió la misma relación en la producción de materia seca de la canavalia en la época de siembra que antecedió a los tratamientos analizados o comparados. (Cuadro 9).

Rendimiento total

Dentro de las alternativas planteadas en este ensayo se encontraron varios sistemas que tuvieron rendimientos similares o superiores a la práctica del agricultor (T_8), luego de los dos años de evaluación (Cuadro 10). El sistema que mayor producción tuvo fue el que incluyó el asocio **SC** en la primera época, seguido de la siembra de maíz en monocultivo durante la segunda época (T_6). También se observó que si se agrupan los tratamientos que incluyen la canavalia en primera coa y monocultivo en segunda (T_5+T_6), el rendimiento total de ambos (12.28 t/ha) es similar al testigo.

Los sistemas que incluyen el asocio de la canavalia en ambos ciclos ($T_1+T_2+T_3+T_4$), tuvieron rendimientos totales similares al testigo, pero con la ventaja de que éstos produjeron un volumen de materia seca de canavalia que fue aprovechado por el ganado en la época seca. El tratamiento que incluye la rotación de la canavalia en primera coa y el maíz en segunda (T_7), fue dominado por todos los tratamientos en la producción total de maíz (suma de las cuatro coas de siembras).

La siembra en rotación de maíz y canavalia es una alternativa en aquellas zonas en donde la precipitación pluvial, en la primera época de siembra (mayo-agosto) es muy errática o escasa, de tal modo, que no se puede levantar una buena cosecha de maíz en este período. También se debe tomar en cuenta el hecho de que este sistema permite sembrar más temprano en comparación con los sistemas que involucran dos siembras de maíz, de tal forma, que el cultivo escapa al efecto de escasez de humedad para la fase de llenado de grano, por lo que, se esperaba un mayor rendimiento al obtenido experimentalmente.

En relación al efecto de los sistemas de asocio con canavalia, se observó que en primera coa el sistema

con **SA** ($T_1+T_2+T_3$) superó al **SC** ($T_3+T_4+T_6$) en 0.50 t/ha y fue ligeramente superior al monocultivo (T_8). En las siembras de segunda coa, el rendimiento fue similar para ambos sistemas (**SA** y **SC**) y el monocultivo superó a ambos en aproximadamente 0.40 t/ha. Al comparar el testigo con el promedio de los tratamientos T_5 y T_6 que son monocultivos en segunda y asociados en primera, se observó que éstos superan a la práctica del agricultor (T_8).

Los datos de precipitación sugieren que en primera coa, al no ser una limitante la humedad, las dos especies (maíz y canavalia) no compiten entre sí, de tal modo que el asocio en **SA** supera ligeramente al testigo y al **SC**. Por el contrario, al sembrar en la segunda coa, los tratamientos con canavalia son más afectados por el déficit de humedad, ya que todos los sistemas en monocultivo los superan, incluyendo el promedio del T_5 y T_6 .

Evaluación económica

Los costos de introducir la leguminosa por ciclo de cultivo tanto en el sistema **SA** y **SC** ascendieron a B/.33.00 y B/. 66.00, respectivamente (Cuadro 11).

La evaluación económica del asocio simultáneo de la canavalia en primera coa, indicó que con las alternativas de **SA** se obtuvieron rendimientos ligeramente superiores al monocultivo y **SC** a menores costos variables; lo que implicó mayores beneficios netos (tratamiento no dominado) (Cuadro 12). Por otra parte, en el asocio simultáneo de la canavalia en la segunda coa, se encontró que las alternativas tanto en **SA** como **SC**, fueron superadas en beneficios netos, por el maíz en monocultivo (T_5 y T_6) (alternativas no dominadas) (Cuadro 12).

Cuadro 9. Producción de canavalia y el respectivo rendimiento de maíz en la siembra posterior al crecimiento de la leguminosa en el combinado Nalú y La Madera, 1993-94.

Sistema	Trat	Canavalia Prod. en Iª Coa'93	Maíz Prod. en IIª Coa'93	Canavalia Prod. en Iª Coa'93	Maíz Prod. en Iª Coa'94	Canavalia Prod. en Iª Coa'94	Maíz Prod. en IIª Coa'94
SA	1, 2 y 5	4.81	3.11			1.37	1.63
SC	3, 4 y 6	7.22	3.24			2.35	1.82
CM	7	15.59	3.73			5.76	2.21
MM	8	0	3.50			0	1.66
SA2	1 y 3			2.55	2.92		
SC2	2 y 4			3.57	3.04		

En la evaluación económica de la producción de maíz en segunda coa, se obtuvo que la parcela en rotación de canavalia seguida de maíz (T₇) fue la de los mayores beneficios netos. Este tratamiento superó a las alternativas que tenían la canavalia en primera en SA y SC, así como el sistema de maíz en monocultivo en primera (Cuadro 13).

Se efectuó también un análisis económico conjunto de los dos años, evaluando los beneficios y costos en las cuatro coas. Para esto se agruparon las alternativas que implican dos ciclos de canavalia al año (T₁ al T₄), un ciclo (T₅ y T₆), la alternativa de rotación canavalia maíz (T₇) y el maíz monocultivo. Al respecto se encontró que la siembra de maíz asociada con un ciclo (T₅ y T₆), presentó beneficios netos superiores al resto de las alternativas evaluadas, incluyendo las siembras en monocultivo (Cuadro 14).

En general, de la evaluación económica realizada puede señalarse que a corto plazo y considerando solamente los efectos sobre los rendimientos de grano; las alternativas que incluyen la incorporación de la canavalia (SA o SC en dos coas; SA o SC seguidos del monocultivo), superan en beneficios netos la siembra del maíz sin incorporación de la canavalia en el sistema (maíz en monocultivo).

Como puede observarse, los indicadores económicos de rentabilidad obtenidos de la evaluación, corresponden únicamente a la medición de los efectos a corto plazo (dos años), de la incorporación de la canavalia sobre el rendimiento de maíz. Una evaluación más completa debe contemplar los beneficios económicos del uso de la canavalia en el ahorro de nitrógeno, en el incremento de la calidad y cantidad de forraje y del mejoramiento del suelo, los cuales no son posible medir en este ensayo.

Cuadro 10. Rendimientos totales obtenidos en los diferentes tratamientos durante las dos épocas de siembra. Combinado Nalú y La Madera, Panamá 93-94.

Sistema	Trat	Rend Total	Rend Ia Coa	Rend Ila Coa
SA/SA	1	11.87	7.12	4.75
SA/SC	2	11.75	7.32	4.43
SC/SA	3	11.08	6.44	4.64
SC/SC	4	11.61	6.53	5.08
SA/M	5	12.14	7.08	5.06
SC/M	6	12.42	6.95	5.47
C/M	7	5.94	0.00	5.94
M/M	8	12.29	7.13	5.16
Can/M	5 y 6	12.28	7.02	5.26
Can/Can	1, 2, 3 y 4	11.58	6.85	4.73
SA	1, 2 y 5		7.17	
SC	3, 4 y 6		6.64	
SA	1 y 3			4.70
SC	2 y 4			4.76

Cuadro 11. Costos que varían en la incorporación de la canavalia en el cultivo de maíz, Nalú y La Madera, Panamá 1993-94.

Tratamientos	Descripción	Costos
Maíz monocultivo		0.00
Urea	3 qq	39.00
Aplicación de urea	1 jornal ¹	6.00
Total		45.00
Surcos Alternos		
Semilla Can	75 lb/ha ²	15.00
Siembra Can	2 jornales	12.00
Cosecha Maíz	1 jornales	6.00
Total		33.00
Surcos Continuos		
Semilla Can	150 lb/ha	30.00
Siembra Can	4 jornales	24.00
Cosecha Maíz	2 jornales	12.00
Total		66.00

¹Un Jornal = B/. 6.00

²Canavalia = B/. 0.20 /lb

Cuadro 12 Evaluación económica del asocio de la canavalia en el cultivo de maíz. Panamá 1993-94.

Tratamientos	Rend Ajust kg/ha ¹	Beneficio Bruto B./ha ²	Costos Variab B./ha	Beneficio Neto B./ha	Dominancia
Primera Coa					
SA (T ₁ , T ₂ y T ₅)	3407	647.33	33.00	614.33	
Maíz (T ₈)	3387	643.53	45.00	598.53	d
SC (T ₃ , T ₄ y T ₆)	3320	630.80	66.00	564.80	d
Segunda Coa					
Maíz (T ₅ y T ₆)	3273	621.87	0	621.87	
SA (T ₁ y T ₃)	2974	565.06	33.00	532.06	d
SC (T ₂ y T ₄)	2812	534.28	66.00	468.28	d

Cuadro 13. Evaluación económica de los efectos de la rotación maíz canavalia en la segunda coa. Panamá. 1993-94.

Tratamientos	Rend Ajust kg/ha (1)	Beneficio Bruto B./ha (2)	Costos Variab B./ha	Beneficio Neto B./ha	Dominancia
SA (T ₁ , T ₂ y T ₃)	2255	428.38	33.00	395.38	
Maíz (T ₄)	2451	465.69	45.00	420.69	
C/M (T ₇)	2822	536.18	54.00	482.18	
SC (T ₄ , T ₃ y T ₆)	2404	456.67	66.00	390.67	d

Cuadro 14. Evaluación económica conjunta (dos años) de la incorporación de la canavalia en el maíz.

Sistemas	Trat	Benef. Brutos Totales	Costos Variab. Totales	Benef. Netos Totales	Dominancia
Un ciclo Can	5 y 6	2106.19	92.55	2013.64	
Rotación Can	7	907.39	100.96	806.43	d
Dos ciclos Can	1 al 4	1979.51	142.05	1837.46	d
Monocultivo	8	1932.56	168.26	1764.30	d

CONCLUSIONES

1. La siembra de canavalia en surcos alternos en maíz, no reduce estadísticamente el rendimiento del cultivo y presenta mayores beneficios económicos en comparación al monocultivo.
2. La siembra en surcos continuos produce más biomasa de la leguminosas, pero su rendimiento es menor en comparación a los surcos alternos.
3. Se encontró una respuesta positiva de la siembra de canavalia en primera coa sobre los rendimientos en segunda coa.
4. Los beneficios netos totales más altos se obtuvieron en los sistemas con asocio de maíz y canavalia en primera y maíz en monocultivo en segunda.

REFERENCIAS

Barreto, H.J., C.Pérez, M.R.Fuentes y J.L.Quemé. 1992. Efecto de dosis de urea-N, insecticida y genotipo en el comportamiento del maíz (*Zea mays* L.) bajo un sistema de labranza mínima en rotación con dos leguminosas de cobertura. En: Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM, 1991. Vol. 3 pag. 1-8.

Boudin, D.R., J.Quintana and A.Suhel. 1989. Evaluation potential of legume residues. En: Trop Soils Technical Report 1986-1987 (Claude, N. ed.). North Caroline University, Raleigh, N.C. pag. 304-305.

CIMMYT, 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual método lógico de evaluación económica, México, 79 p

Gordón, R., J.Franco, N.De Gracia, L.Martínez, A.González, A.de Herrera y J.Bolaños. 1993a. Respuesta del maíz a la

aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con canavalia y mucuna, bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1992-93. En: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM. Vol. 4 pag. 106-110.

Gordón, R., N.De Gracia, J.Franco, A.González y J.Bolaños. 1993b. Asocio de maíz con canavalia a distintas épocas y arreglos de siembra en Azuero, Panamá, 1992-93. En: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM. Vol. 4 pag. 102-105.

Herrera, D., A.de Herrera, B.Guerrero, O.Vergara y R.Gordón. 1993. Evaluación Bioeconómica del uso de rastrojo de maíz en asocio con Canavalia ensiformis, Azuero, Panamá, 1992-1993. En: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM. Vol. 4 pag. 176-183.

Sosa, H., J.Pérez, J.L.Zea, M.R.Fuentes, G.López y J.Bolaños. 1993. Respuesta diferencial del maíz a la labranza de conservación a distintas dosis de nitrógeno. En: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM. Vol. 4 pag. 119-123.

Wade, M.K., and P.A.Sánchez. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the amazon basin. *Agronomy Journal*. 75: 39-45.

Yost, R.S., D.O.Evans and N.A.Saidy. 1985. Tropical legumes for N production growth and N content in relation to soil pH. *Trop. Agric. (Trinidad)* 62:20-24.

Zea, J.L., W.R.Raun y H.Barreto. 1990. Efectos de intercalar leguminosas a diferentes fechas de siembra y dosis de fósforo sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) Centro América, 1989. En: Manejo de Suelos Tropicales en Latinoamérica. Soil Science Department, North Caroline State University, Raleigh N.C. pag 115-121.

Zea, J.L. 1992a. Efecto de intercalar leguminosas con diferentes dosis de fósforo sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Mesoamericana* 3:16-21.

Respuesta del Maíz a la Aplicación de Diferentes Dosis de Nitrógeno en Rotación con Canavalia bajo dos Tipos de Labranza, Río Hato, Panamá, 1993-94

Román Gordón¹, Jorge Franco², Nivaldo de Gracia³ y Andrés González²

RESUMEN

Se realizó un experimento en dos años consecutivos para evaluar la respuesta del maíz a tres dosis de N (0, 75 y 150 kg de N) en rotación con canavalia, comparado con una siembra sin leguminosa. Las parcelas de rotación se establecieron en mayo al inicio de la época lluviosa, y en septiembre se sembró un experimento con maíz, bajo dos tipos de labranza. Uno consistió en incorporar la canavalia y malezas presentes y el otro en dejarlas sobre la superficie del suelo. Se evaluaron cuatro sistemas: uno en donde se cortó la leguminosa y se dejó el rastrojo en la parcela (CanR+F); una parcela en donde creció la leguminosa, se cortó toda la parte vegetativa de las plantas y se extrajo este rastrojo de la parcela (CanR); una parcela en donde no había leguminosas y se le colocó todo el rastrojo del área anterior (CanF) y una parcela sin leguminosas (SLeg). Se utilizó un diseño de parcelas sub-sub-divididas, las parcelas principales siendo los sistemas arregladas en bloques completos al azar con tres repeticiones, la labranza en las sub-parcelas y las dosis de N en las sub-sub parcelas. Se encontró un efecto residual altamente significativo de los sistemas, siendo CanR y CanR+F los de más alto rendimiento con 5.39 y 5.28 t/ha, respectivamente. Luego siguió CanF (3.58 t/ha) y por último la parcela SLeg con 2.50 t/ha. La respuesta a N fue altamente significativa con rendimientos de 2.82, 4.54 y 4.99 t/ha, para 0, 75 y 150 kg de N/ha, respectivamente. Las dosis de N que maximizan los rendimientos para CanR+F CanR, CanF y SLeg fueron de 39, 30, 36 y 110 kg N/ha, respectivamente. La interacción N x sistemas resultó altamente significativa.

El uso de leguminosas como abonos verdes es un método utilizado desde hace muchos años. Varios autores han informado de los beneficios de incorporar leguminosas de cobertura con el fin de incorporar nitrógeno al sistema mediante la fijación biológica (Wade y Sánchez, 1983; Yost et al., 1985 y Barreto et al., 1992). Bouldin et al. (1989) encontraron que se

pueden sustituir hasta 170 kg de N con leguminosas de cobertura. Burle et al. (1992) encontraron que *Canavalia brasiliensis* y *Mucuna aterrima* son especies promisorias por su tolerancia a estrés hídrico y rápido crecimiento. Estos autores encontraron que el maíz pudo obtener hasta 80 kg de N/ha provenientes de la canavalia. Gordón et al. (1993) reporta un experimento donde evaluaron *Mucuna deeringianum* (mucuna) y *Canavalia ensiformis* (canavalia), sobresaliendo ésta última, donde el rendimiento de maíz en las parcelas en rotación con canavalia superaron a las parcelas sin leguminosas en 1.85 t/ha. Asimismo, la dosis óptima de N fue de 54 kg/ha, mientras que, en las parcelas sin leguminosas, la dosis óptima fue de 139 kg/ha (Gordón et al., 1993). Los mismos autores realizaron un experimento donde evaluaron el efecto de los componentes de la canavalia (raíces y follaje) por separado, encontrando diferencias en la respuesta del maíz en cada sistema (Gordón et al., 1994).

Este trabajo se realizó para determinar los requerimientos de N para la producción del maíz en monocultivo, bajo un sistema de siembra alterno de canavalia en mayo y maíz en septiembre. Se evaluaron dos sistemas de labranza, incorporando la leguminosa y dejándola sobre la superficie del suelo. Además de evaluar el aporte de la parte aérea de las leguminosas, así como el efecto de sus componentes (forraje y raíces), se pretendía de evaluar la dinámica del nitrógeno y cuantificar la equivalencia del N aportado por la canavalia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos ensayos consecutivos (1993 y 1994), en la finca Río Hato Sur, Provincia de Coclé, Panamá, ubicada a 25 msnm. Se evaluó la respuesta del maíz a tres dosis de nitrógeno (0, 75 y 150 kg N/ha), bajo el sistema de siembra de rotación del maíz con *Canavalia ensiformis* además de una siembra sin leguminosas. La canavalia fue sembrada al inicio de la época lluviosa (mayo) y el maíz en septiembre del mismo año. Se evaluaron dos tipos de labranza, uno consistió en incorporar las leguminosas y malezas

¹ Ing. Agrónomo, M.Sc., ² Agrónomo, ³ Ing. Agrónomo, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro Regional Agropecuario de Azuero.

antes de la siembra (labranza convencional) y el otro en dejarlas sobre la superficie del suelo (labranza de conservación). Para la realización de este ensayo se contó con cuatro parcelas, de un área de 324 m² (27 x 12 m), y equivalen a los cuatro sistemas evaluados:

- 1) Parcela donde creció la canavalia, luego en septiembre se cortó el forraje y se dejó todo este material sobre la misma. Corresponde al efecto de ambos componentes de la planta (raíces y forraje) y del mejoramiento del suelo. Se le denominó Canavalia Raíces + Forraje (CanR+F).
- 2) Parcela donde creció la canavalia, luego se cortó toda la parte vegetativa de las plantas y se extrajo este forraje de la parcela, quedando únicamente en la misma, las raíces de las leguminosas y el efecto del mejoramiento del suelo. Corresponde al sistema denominado Canavalia-Raíces (CanR).
- 3) Parcela sin leguminosas, que en septiembre se le colocó todo el forraje de la canavalia que había en la parcela mencionada en el punto 2. Esta fue el Sistema Canavalia-Forraje (CanF).
- 4) Una parcela sin leguminosas (SLeg).

El suelo donde se sembró el experimento es franco arenoso con aproximadamente 5% de pendiente y con fertilidad de media a baja. Se realizó un análisis del suelo en mayo y otro antes de la siembra del maíz (septiembre) (Cuadro 1). En este ensayo se utilizó el híbrido de maíz P-8916. El diseño experimental utilizado fue el de parcelas sub-sub-divididas (Sistemas x Labranza x Dosis de N). Las parcelas principales fueron arregladas en bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela principal fue el sistema. Las sub-parcelas fueron el tipo de labranza (convencional y conservación), mientras que las sub-sub-parcelas fueron las dosis de nitrógeno. La parcela de labranza convencional consistió en una parcela donde se efectuaron tres pases de rastra, incorporando todo el material vegetativo que se encontraba en la superficie (leguminosas y malezas). La parcela de labranza de conservación, consistió en una parcela que no se

preparó, sólo se chapeó la leguminosa y/o maleza (según el Sistema) y posteriormente se le aplicó el herbicida Round-up a razón de 4.0 l/ha. El tamaño de las unidades experimentales fue de 4 surcos de maíz de 5.5 m de largo, separados a 0.75 m entre hileras y 0.5 m entre golpes, dejando dos plantas por golpe, para una densidad teórica de 5.33 pl/m². El control de malezas se realizó con la aplicación de la mezcla de atrazina más pendimetalina a razón de 2.0 + 2.0 l/ha, con posteriores limpiezas manuales, por escapes del control de algunas malezas. La fertilización consistió de la aplicación al momento de la siembra de 60 kg de P₂O₅/ha más la mitad del N. En 1994 se le aplicó además del P y N la cantidad de 20 kg de S en forma de Ca₂SO₄-2H₂O. El resto del N se aplicó en forma de urea 30-35 días después de la siembra (dds).

Se tomaron datos del peso y contenido de N de las leguminosas, al momento de cortarlas, contenido de nitrógeno en la hoja de la mazorca al momento de la floración, número de plantas y mazorcas a la cosecha, rendimiento y porcentaje de humedad del grano. La precipitación de esta localidad en los dos años de experimento se observa en el Cuadro 2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indicaron que hubo diferencias altamente significativas para rendimiento y algunos de sus componentes en los distintos factores estudiados, así como en algunas de las interacciones (Cuadro 3). En el análisis estadístico se observó que los factores Leguminosas, Dosis de N y Año absorben la mayor parte de la variación del experimento (93.5%), con un 38.1, 29.9 y 25.5%, respectivamente. Los otros componentes a pesar de que ciertos presentan diferencias estadísticas, sólo alcanzan el 7.5% de la variación total del experimento para la variable rendimiento de grano. Los otros componentes del rendimiento o variables de respuestas siguen la misma tendencia que la observada en el rendimiento.

Cuadro 1. Análisis de suelo para cada parcela en rotación, Río Hato, Panamá, 1993-94.

Sistema	pH	A-L-Arc	P	K	Ca	Mg	Al	M.O.	Fe	Zn
Canavalia										
Mayo'93	5.6	66-18-18	1.6	117.5	0.9	0.2	0.1	2.68	1.0	0.7
Sep'93	5.8	70-16-14	2.6	208.8	0.9	0.2	0.1	2.01	1.5	0.5
Mayo'94	5.8	70-16-14	2.6	210.8	0.8	0.2	0.1	2.35	1.5	0.5
Sep '94	5.6	66-14-20	4.1	255.0	1.3	0.3	0.1	2.80	1.9	0.3
Sin Leguminosas										
Mayo'93	5.6	58-20-22	1.7	94.1	0.9	0.6	0.1	2.28	1.7	0.4
Sep'93	5.8	70-16-14	1.9	180.0	0.6	0.2	0.1	2.55	1.1	0.2
Mayo'94	5.8	76-18-16	1.5	47.0	0.6	0.2	0.1	1.74	1.0	1.3
Sep'94	5.8	62-18-20	5.0	82.3	0.9	0.2	0.2	2.10	3.6	0.3

P, K, Fe y Zn = µg/ml

Ca, Mg y Al= meq/100 ml

M.O.= %

Cuadro 2. Precipitación pluvial (mm) en Río Hato desde mayo hasta diciembre de 1993-94.

Mes	Días		
	1-10	11-20	21-30/31
1993			
May	52.7	42.5	35.0
Jun	0.0	7.5	100.0
Jul	59.9	31.0	31.4
Ago	23.2	37.5	104.3
Sep	22.4	12.6	59.9
Oct	0.0	62.0	4.6
Nov	32.5	142.8	83.5
Dic	0.0	25.1	0.0
1994			
May	55.0	97.9	103.5
Jun	17.0	40.7	81.0
Jul	40.7	11.8	4.9
Ago	109.7	6.3	70.8
Sep	4.5	21.5	68.5
Oct	128.7	45.9	80.2
Nov	74.4	67.5	29.3
Dic	29.0	0.0	0.0

Producción de Canavalia

El análisis de laboratorio de la canavalia (tallos más hojas) indicó que el porcentaje promedio de N en las partes analizadas fue de 3.2%. La cantidad de materia seca en las parcelas de canavalia, al momento de realizar el corte fue de 5.88 y 6.02 t/ha, para 1993 y 1994, respectivamente. Esto equivale a incorporar 188 y 192 kg de N/ha, en agosto de ambos años (Cuadro 4).

La diferencia en el rendimiento de materia seca del forraje entre los dos años, se debió principalmente a la distribución de las lluvias durante el periodo de crecimiento de la leguminosa.

Efecto Residual de la Canavalia:

Se encontró que hubo una respuesta altamente significativa por el efecto residual de la canavalia y los distintos sistemas evaluados. Los rendimientos más altos se obtuvieron en las parcelas que tenían la canavalia y por último la parcela sin rotación con leguminosas. Esta respuesta indica que la siembra de la canavalia favoreció al cultivo. En relación a los sistemas, se encontró que el grupo de más alto rendimiento estuvo formado por CanR y CanR+F con 5.39 y 5.28 t/ha, respectivamente (sin diferencias estadísticas entre ellos). Luego le siguió CanF (3.58) y por último SLeg con un rendimiento de 2.50 t/ha.

Este mismo orden se observó en el peso de mazorca y mazorcas por planta, con diferencias significativas ($P < 0.01$ y $P < 0.05$, respectivamente). Esto indica que la siembra de las leguminosas antes del maíz favoreció el rendimiento del cultivo. El número de pl/m² presentó diferencias significativas ($P < 0.02$) en donde el promedio de la población de los diferentes sistemas estuvo entre 5.19 a 4.94 pl/m².

Cuadro 3. Análisis de varianza de las variables rendimiento de grano y sus componentes, Río Hato, Panamá, 1993-94.

F de Variación	g.l.	Rend	Pmz ¹	Cuadrados Medios		
				Ptm ²	Mzm ²	Mz/pta
Año	1	42.85** ²	9728**	1.89**	10.94**	0.18**
Rep(Año)	2	0.30	102	0.01	0.04	0.002
Leg	3	63.91**	19587**	0.42**	7.83**	0.29**
Rep x Leg	6	0.30	63.5	0.07	0.13	0.003
Lab	1	0.28 ^{n.s.}	2.81 ^{n.s.}	0.03 ^{n.s.}	0.39 ^{n.s.}	0.02 ^{n.s.}
Leg x Lab	3	0.47 ^{n.s.}	78.6 ^{n.s.}	0.01 ^{n.s.}	0.11 ^{n.s.}	0.003 ^{n.s.}
Rep x Lab(Leg)	8	1.15	231.1	0.04 ^{n.s.}	0.21	0.01
Nit	2	50.32**	11674**	0.73 ^{n.s.}	13.41**	0.34**
Leg x Nit	6	2.22**	877**	0.10	1.74**	0.07**
Lab x Nit	2	1.24**	244*	0.13**	0.14 ^{n.s.}	0.01 ^{n.s.}
Leg x Lab x Nit	6	0.31 ^{n.s.}	100.8 ^{n.s.}	0.11 ^{n.s.}	0.28*	0.01 ^{n.s.}
Leg x Año	3	2.13**	1077**	0.13 ^{n.s.}	2.58**	0.11**
Lab x Año	1	0.03 ^{n.s.}	7.8 ^{n.s.}	0.005 ^{n.s.}	0.12 ^{n.s.}	0.001 ^{n.s.}
Nit x Año	2	0.02 ^{n.s.}	197*	0.06 ^{n.s.}	3.81**	0.15**
Leg x Lab x Año	3	1.61**	514**	0.09 ^{n.s.}	0.26 ^{n.s.}	0.01 ^{n.s.}
Leg x Nit x Año	6	0.17 ^{n.s.}	119 ^{n.s.}	0.10 ^{n.s.}	0.67**	0.02**
Lab x Nit x Año	2	0.22 ^{n.s.}	235*	0.0002 ^{n.s.}	0.15 ^{n.s.}	0.004 ^{n.s.}
Error	80	0.204	70.4	0.069	0.131	0.004
C.V. (%)		10.86	10.15	5.18	7.53	7.25

¹ Pmz= Peso de mazorcas; Ptm² y Mzm²= plantas y mazorcas/m²; Mz/pt=Mazorcas/planta;
² *, **, *** se refieren a $P < F$ de 10, 5, 1 y 0.1%, respectivamente. ^{n.s.} No significativa estadísticamente

El número de mz/m^2 presentó diferencias ($P<0.01$), observándose el promedio más bajo en el sistema SLeg con $4.16\text{ }mz/m^2$. En relación al tamaño de la mazorca, las más grande se lograron con los sistemas CanR y CanR+F con 105 y 100 g/mazorca, mientras que los tamaños más pequeños se obtuvieron con los sistemas CanF y SLeg (Cuadro 5).

Los resultados muestran que el sistema que sólo contenía las raíces (CanR), logró rendimientos superiores en comparación al sistema que evaluaba el efecto del forraje (CanF). Esto sugiere que la mayoría del N que acumulan las hojas y tallos de las leguminosas no es aprovechado por el cultivo en rotación. Las ganancias o respuestas positivas observadas en las parcelas que sólo contenían las raíces, por su parte, sugieren que el mejoramiento físico que puede sufrir el suelo, además de la cantidad de N que es fijado durante el crecimiento o desarrollo de las leguminosas, así como, el contenido de N que tienen las raíces, son aprovechados o revierten en mayores beneficios para el cultivo de rotación. Otra explicación posible es que, debido al crecimiento de las raíces de la leguminosa, se aumenta el contenido de micorrizas en el suelo, favoreciendo el mejor desarrollo del cultivo en rotación.

Respuesta a las Dosis de Nitrógeno

La respuesta de la aplicación de N fue altamente significativa. Los rendimientos obtenidos para el promedio de las dosis de 0, 75 y 150 kg de N/ha fue de 2.82, 4.54 y 4.99 t/ha, respectivamente. En relación al peso de las mazorcas se observó que a medida que se aumenta la cantidad de N el tamaño de la mazorca es mayor. Para las variables pl/m^2 y mz/m^2 se observó que los promedios más bajos se encuentran en las parcelas sin N (Cuadro 6).

Efecto de la Labranza

En relación con el sistema de labranza, el mismo no mostró diferencias estadísticas, aunque, el promedio de las parcelas en labranza de conservación fue mayor, que las parcelas en labranza convencional (4.20 y 4.11 t/ha, respectivamente). La precipitación pluvial errática que se presenta comúnmente en esta zona del país, parece favorecer a las parcelas con residuos sobre la superficie, de tal manera que la poca humedad existente se conserva mejor.

Cuadro 4. Producción de materia seca de canavalia, Río Hato, Panamá, 1993-94.

Canavalia	Rend t/ha	%N	Kg N/ha
	1993		
Mat. verde	5.88	3.2	188.1
	1994		
Mat. verde	6.02	3.2	192.6

Cuadro 5. Rendimiento de grano y sus componentes, según sistemas evaluados, Río Hato, Panamá, 1993-94.

Sist	Rend t/ha	Ptm ²	Mzm ²	Pmz gr	MzPt
CanR	5.39	5.16	5.08	105	0.98
CanR+F	5.28	5.19	5.28	100	1.01
CanF	3.58	4.94	4.74	74	0.96
SLeg	2.50	5.10	4.16	53	0.81

El resto de los componentes de rendimiento no mostró diferencias significativas entre sí (Cuadro 7). Resultados similares encontró Gordón et al. (1993 y 1994), de manera que el efecto de disminuir las pérdidas de la humedad del suelo, sumado al efecto positivo encontrado en los sistemas que sólo incluyen las raíces, indican que es mejor dejar las plantas de la leguminosa a manera de mantillo y practicar la labranza de conservación. Contrario a estos resultados, Costa et al. (1990), encontraron que las parcelas donde no se incorporaban las leguminosas rendían menos, en comparación con incorporación, debido a que en las no incorporadas había mayores pérdidas de N.

Respuesta de los Sistemas a las dosis de Nitrógeno

La respuesta de la aplicación del N fue altamente significativa y dependió del manejo de los residuos de las leguminosas. En el análisis de varianza se observó que la interacción leguminosas por dosis de N fue significativa ($P<0.01$). Además del análisis de varianza, se realizó un análisis para determinar la curva de rendimiento máximo estable (*plateau*) en función de las dosis de N aplicado en forma de urea, para cada sistema (Cuadro 8).

El aporte de N al cultivo por parte de los sistemas evaluados se puede observar en el rendimiento del maíz en el intercepto de la curva con el eje del rendimiento, el cual representa el rendimiento del cultivo cuando no se aplica N al sistema.

Cuadro 6. Rendimiento de grano y sus componentes, según dosis de N aplicadas, Río Hato, Panamá, 1993-94.

Dosis de N	0	75	150
Rend (t/ha)	2.82	4.54	4.99
Pmz (gr)	61.87	89.09	95.12
Mz/pt	0.83	0.98	1.00
Ptm ²	4.93	5.13	5.20
Mzm ²	4.12	5.02	5.21

Cuadro 7. Rendimiento y sus componentes, según tipo de labranza, Río Hato, Panamá, 1993-94.

Labranza	Convencional	Conservación
Rend	4.11	4.20
Pmz	82.31	82.88
Mz/pt	0.93	0.95
Mzm ²	4.75	4.85
Ptm ²	5.08	5.11

En el sistema SLeg, el valor del intercepto fue de 0.81 t/ha. Este bajo rendimiento se puede explicar, por el bajo contenido de materia orgánica que muestran los distintos análisis del suelo en esta parcela. El incremento en el rendimiento de grano sin aplicar N a los sistemas CanR+F y CanR, fue significativamente superior, ya que, el valor del intercepto fue de 4.72 y 4.24 t/ha. Estos valores superan al testigo SLeg por el orden de 3.91 y 3.43 t/ha, respectivamente. (Cuadro 8).

En este análisis se encontró que el rendimiento máximo (*plateau*) que se puede obtener en el sistema SLeg es de 3.86 t/ha, el cual es superado por los sistemas CanR, CanR+F en más de 1.5 t/ha, ya que, el *plateau* en estos fue de 5.91 y 5.50 t/ha, para cada sistema respectivamente. Este incremento en el techo del rendimiento, que se puede lograr implementando la rotación de la canavalia en la producción del maíz, mejoraría la eficiencia de los productores en un 43 a 54%.

Cuadro 8. Valores para la curva de respuesta del rendimiento de grano en función de las dosis de N aplicada, Río Hato, Panamá, 1993-94.

Sistemas	Intercepto (b ₀)	Pendiente (b ₁)	Rend Máximo (Plateau)	Dosis N de inflexión	R ²
Can R+F	4.72	0.020	5.50	39	0.71*
Can R	4.24	0.055	5.91	30	0.97**
Can F	2.14	0.060	4.30	36	0.94**
S Leg	0.81	0.027	3.83	110	0.94**

*, ** se refieren a P>F de 1 y 0.1%, respectivamente

El punto de inflexión de las curvas, indica la dosis en la cual la respuesta del cultivo permanece estable, es decir, el rendimiento no aumenta por incrementos en las dosis de N aplicado. Al analizar los valores encontrados se observa como en el sistema SLeg se necesitan 110 kg/ha, para lograr el rendimiento máximo, mientras que en los sistemas que involucran la canavalia, la dosis óptima oscila entre 30 a 40 kg N/ha. Esta reducción implica un ahorro significativo en la utilización de urea en la producción del cultivo (Figura 1). Se debe señalar que el efecto de la rotación de las leguminosas, parece involucrar algo más que el aporte de N calculado en base a la producción de biomasa, como lo puede ser, el mejoramiento en la estructura del suelo o algunos componentes que no se pudieron medir en este trabajo.

Interacción Sistemas x Dosis de N

La dosis de 0 N fue el factor que más reducción produjo en el número de mazorcas por planta, en las parcelas SLeg. Alrededor de un 42% de plantas abortaron las mazorcas en el nivel de 0 N, en comparación con los niveles de 75 y 150 kg con 13 y 4% de aborto, respectivamente. En los sistemas CanR+F y CanR no se observó este efecto, ya que el porcentaje de aborto fue menor del 5%, para todos los niveles. En el sistema CanF, el nivel de 0 N presentó 14% de plantas sin mazorcas. Los factores, pl/m², mz/m², peso de mazorca y número de mazorcas/planta, explican los bajos rendimientos a 0 N (Cuadro 9).

Cuando se observa el promedio general (a través de dosis) de los distintos sistemas, los datos sugieren que el forraje de la canavalia no tiene mucho aporte en el rendimiento, ya que, no hay diferencias significativas entre los sistemas CanR y CanR+F (6.01 vs 6.00 y 4.73 vs 4.59 t/ha, para los años 1993 y 1994, respectivamente).

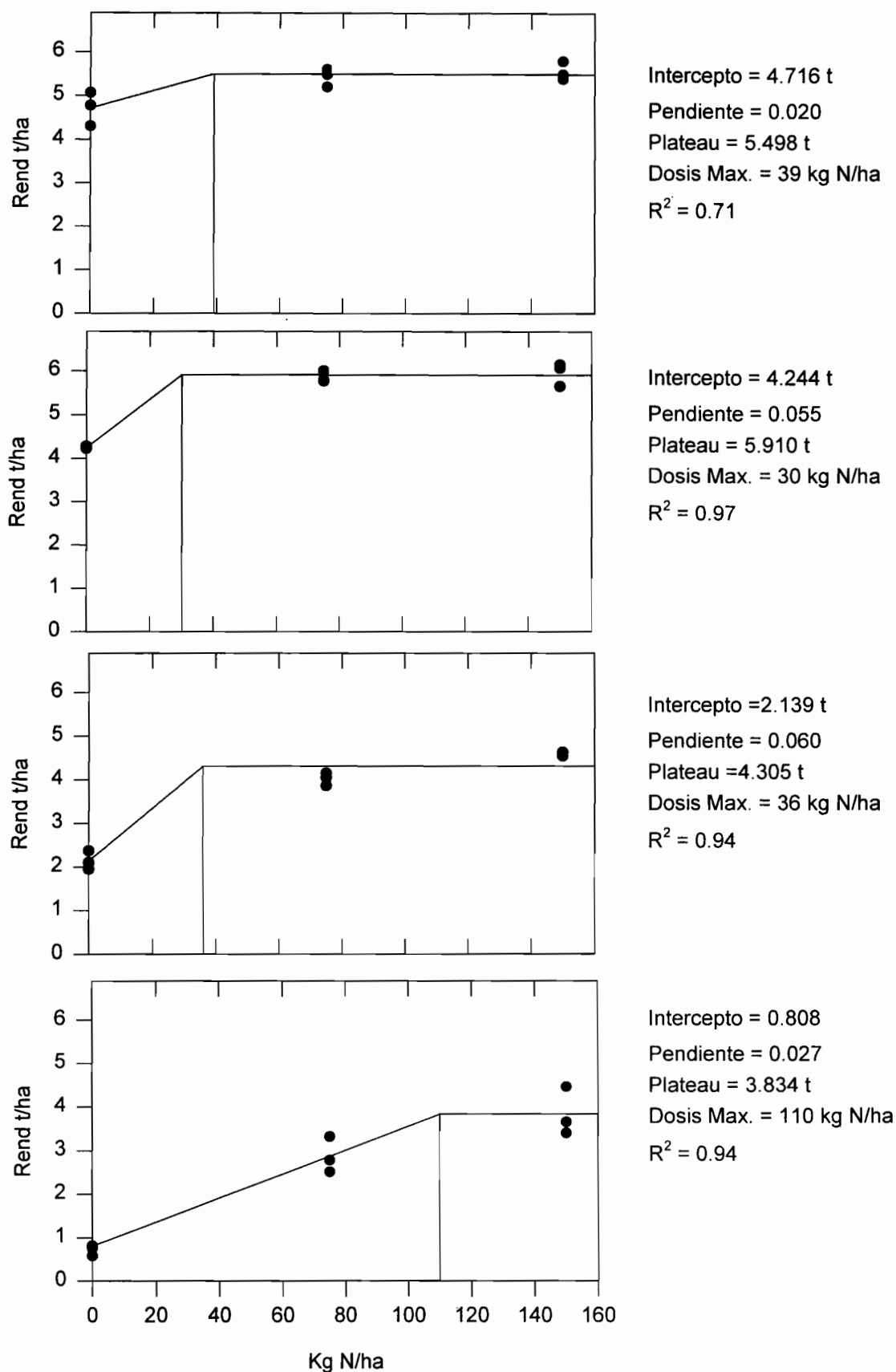


Figura 1. Curvas de rendimiento de los sistemas que incluyeron Canavalia y el sistema sin rotación de leguminosas. Río Hato, Panamá, 1993-95

Al analizar la interacción Leg x Dosis, se observó que al pasar de 0 a 75 kg N/ha en el sistema CanR, hubo una ganancia de 1.76 y 1.58 t/ha, un 36.9 y 43.8% de incremento, con respecto a la dosis de 0 N. Por el contrario, en el sistema CanR+F el incremento en la dosis sólo aumentó el rendimiento en 0.50 y 0.82 t/ha (8.9 y 20.8% de incremento). Es decir que en ambos años el nivel de 0 N en el sistema CanR+F superó al rendimiento observado en el sistema de CanR. En el sistema CanF este incremento de dosis representó un porcentaje mayor del rendimiento (68.9 y 111.7%). En los tres sistemas que involucran la rotación con canavalia, se observó que no hay respuesta a la aplicación de nitrógeno cuando se pasó de la dosis de 75 a 150 kg N/ha (Cuadro 10).

CONCLUSIONES

1. La respuesta al efecto residual de las leguminosas fue altamente significativa.
2. La respuesta a aplicación de N fue altamente significativa para los niveles de 0, 75 y 150 kg/ha.
3. El sistema de labranza no mostró diferencias aunque el promedio de las parcelas sin incorporación fue mayor que las parcelas de labranza convencional.
4. El rendimiento máximo que se puede obtener en los sistemas SLeg, CanR, CanR+F y CanF fue de 3.83 5.91, 5.50 y 4.30 t/ha, para cada sistema.
5. Las dosis de N que maximizan los rendimientos para CanR+F, CanR, CanF y SLeg fue de 39, 30, 36 y 110 kg N/ha, respectivamente.

REFERENCIAS

- Barreto, H.J., C. Pérez, M.R. Fuentes y J.L. Quemé. 1992. Efecto de dosis de urea-N, insecticida y genotipo en el comportamiento del maíz (*Zea mays* L.) bajo un sistema de labranza mínima en rotación con dos leguminosas de cobertura. *En*: Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM, 1991. pag 175-192.
- Bouldin, D.R., J. Quintana y A. Suhet. 1989. Evaluation potential of legume residues. *En*: (Claude, N. ed) Trop Soils Technical Report. 1986-1987. North Caroline State University. Raleigh, N.C. pp 304-305.
- Burle M, A.Suhet, J.Pereira, D.Resck, J.Peres, M.Croavo, W.Bowen, D.Bouldin and D.Lathwell. 1992. Legume green manures: Dry season survival and the effect on succeeding maize crops. Soil Management CRSP. NCSU, Raleigh N.C. Bulletin N° 92 35 p.

Cuadro 9. Medias de rendimiento de grano y mazorcas por planta obtenidos en el ensayo de rotación, según sistemas y dosis de N, Río Hato, Panamá, 1993-94.

Sistemas	Dosis de N		
	0	75	150
		Rend (t/ha)	
Can R+F	4.68	5.43	5.56
Can R	4.25	5.86	5.96
Can F	2.14	4.02	4.56
S Leg	0.81	2.87	3.83
		Maz/planta	
Can R+F	0.99	1.04	1.01
Can R	0.93	1.01	1.01
Can F	0.87	0.98	1.03
S Leg	0.58	0.88	0.96

Cuadro 10. Medias de rendimiento de grano obtenidos en el ensayo de rotación, según sistemas, dosis de N y año, Río Hato, Panamá, 1993-94.

Sistemas	1993			
	0	75	150	Prom
CanR	4.77	6.56	6.72	6.01
CanR+F	5.60	6.10	6.17	6.00
CanF	2.41	4.07	4.85	3.78
		1994		
CanR	3.61	5.19	5.19	4.73
CanR+F	3.94	4.76	4.96	4.59
CanF	1.87	3.96	4.33	3.39

Costa, F.S.A., D.R. Bouldin and A.R. Suhet. 1990. Evaluation of N recovery from mucuna placed on the surface or incorporated in a Brazilian Oxisol. Plant and Soil 124:91-96.

Gordón, R., J.Franco, N.De Gracia, L.Martínez, A.González, A.de Herrera y J.Bolaños. 1993. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con canavalia y mucuna, bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1992-1993. *En*: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM, Vol. 4 pag 106-110.

Gordón, R., J.Franco, N.De Gracia y A.González 1994. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con canavalia y mucuna, bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1993-1994. *En* edición 11 pag

Wade, M.K. y P.A. Sánchez. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the amazon basin. *Agronomy Journal*. 75: 39-45.

Yost, R.S., D.O. Evans y N.A. Saidy. 1985. Tropical legumes for N production: growth and N content in relation to soil pH. *Trop. Agric. (Trinidad)*. 62: 20-24.

Respuesta del Maíz a la Aplicación de Diferentes Dosis de Nitrógeno en Rotación con Mucuna Bajo Dos Tipos de Labranza, Río Hato, Panamá, 1993-94

Román Gordón¹, Jorge Franco², Nivaldo de Gracia³ y Andrés González²

RESUMEN

Se realizó un experimento en dos años consecutivos para evaluar la respuesta del maíz a tres dosis de N (0, 75 y 150 kg de N/ha), en rotación con *Mucuna deeringiana*, comparado con una sin leguminosas. Las parcelas de rotación se establecieron en mayo al inicio de la época lluviosa, y en septiembre se sembró un experimento con maíz. Este consistió en evaluar dos tipos de labranza, uno incorporando las leguminosas y malezas presentes, antes de la siembra y el otro dejándolas sobre la superficie del suelo. Se evaluaron cuatro sistemas: Uno en donde se cortó la leguminosa y se dejó el rastrojo en la parcela (MucR+F), una parcela en donde creció la leguminosa, se cortó toda la parte vegetativa de las plantas y se extrajo este rastrojo de la parcela (MucR), una parcela en donde no había leguminosas y se le colocó todo el rastrojo del área anterior (MucF) y una parcela sin leguminosas (SLeg). Se utilizó un diseño de parcelas sub-sub divididas, las parcelas principales fueron los sistemas, arregladas en bloques completos al azar con tres repeticiones, en las sub-parcelas se evaluaron la labranza y en las sub-sub parcelas las dosis de N. El efecto residual fue altamente significativo, con más alto rendimiento por MucR y MucF (4.97 y 4.42 t/ha, respectivamente), siguiéndole MucR+F (4.12) y por último SLeg con 2.50 t/ha. La aplicación de N fue altamente significativa con rendimientos promedios de 4.81, 4.46 y 2.70 t/ha, para 150, 75 y 0 kg N/ha, respectivamente. La interacción Dosis de N x Sistemas, resultó altamente significativa.

El uso de leguminosas como abonos verdes es un método utilizado desde hace muchos años. Varios autores han informado de los beneficios de incorporar leguminosas de cobertura con el fin de incorporar nitrógeno al sistema mediante la fijación biológica. (Wade y Sánchez, 1983; Yost et al., 1985 y Barreto et al., 1992). Bouldin et al. (1989) encontró que se pueden sustituir hasta 170 kg de N, utilizando leguminosas de cobertura. Burle et al. (1992),

encontraron que la *Canavalia brasiliensis* y la *Mucuna aterrima*, son especies promisorias por su tolerancia a estrés hídrico y rápido crecimiento. Gordón et al., (1993), reportaron los resultados de rotación de maíz con mucuna y canavalia, sobresaliendo ésta última. En 1993, Gordón et al (1994) realizaron un experimento similar donde se evaluó el efecto de los componentes de las leguminosas (raíces y follaje) por separado, encontrando diferencias en la respuesta del maíz en cada sistema.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar los requerimientos de N para la producción del maíz en monocultivo, bajo un sistema de siembra alterno de leguminosas en primera coa (mayo) y maíz en segunda (septiembre), bajo dos sistemas de labranza (incorporando la leguminosa y dejándola sobre la superficie del suelo), además de evaluar el aporte de la parte aérea de las leguminosas, así como el efecto de sus componentes (forraje y raíces). Además de evaluar la dinámica de N y cuantificar la equivalencia del N aportado por las leguminosas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos ensayos consecutivos (1993 y 1994), en la finca Río Hato Sur, ubicada en la provincia de Coclé, Panamá, ubicada a 25 msnm. Se evaluó la respuesta del maíz a tres dosis de N (0, 75 y 150 kg N/ha), en rotación con mucuna, además de una siembra sin leguminosas. La leguminosa fue sembrada al inicio de la época lluviosa (mayo) y el maíz en septiembre del mismo año. Se evaluó dos tipos de labranza, uno consistió en incorporar las leguminosas y malezas antes de la siembra (labranza convencional) y el otro en dejarlas sobre la superficie del suelo (labranza de conservación).

Para la realización de este ensayo se contó con cuatro parcelas, cada una consistió de un área de 324 m² (27 x 12 m), y representaron a los cuatro sistemas evaluados:

- 1) Parcela donde creció la Mucuna, luego en septiembre se cortó el forraje y se dejó todo este

¹ Ing. Agrónomo, M.Sc., ² Agrónomo, ³ Ing. Agrónomo, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro Regional Agropecuario de Azuero.

material sobre la misma. Corresponde al efecto de ambos componentes de la planta (raíces y forraje) y mejoramiento del suelo, es denominado Mucuna Raíces + Forraje (**MucR+F**).

- 2) Parcela donde creció la Mucuna, luego se cortó toda la parte vegetativa de las plantas y se extrajo este forraje de la parcela, quedando únicamente en la misma, las raíces de las leguminosas y el efecto del mejoramiento del suelo, corresponde al sistema denominado Mucuna-Raíces (**MucR**).
- 3) Parcela sin leguminosas, que en septiembre se le colocó todo el forraje de la mucuna que había en la parcela mencionada en el punto 2. Esta fue el Sistema Mucuna-Forraje (**MucF**).
- 4) Una parcela sin leguminosas (**SLeg**).

El suelo donde se sembró el experimento es franco arenoso con aproximadamente 5% de pendiente y con fertilidad de media a baja. Se realizó un análisis del suelo en mayo y otro antes de la siembra del maíz (septiembre) (Cuadro 1). En este ensayo se utilizó el híbrido de maíz P-8916. El diseño experimental utilizado fue el de parcelas sub-sub-divididas (Sistemas x Labranza x Dosis de N). Las parcelas principales fueron arregladas en bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela principal fue el Sistema. Las sub-parcelas fueron el tipo de labranza (convencional y conservación), mientras que las sub-sub-parcelas fueron las dosis de nitrógeno.

La parcela considerada como labranza convencional consistió en una parcela que recibió tres pases de rastra, incorporando todo el material vegetativo en la superficie (leguminosas y malezas). La parcela de labranza de conservación consistió en una parcela que no se preparó, sólo se chapeó la leguminosa y/o maleza (según el Sistema) y posteriormente se le aplicó el herbicida Round-up a razón de 4.0 l/ha.

El tamaño de las unidades experimentales fue de cuatro surcos de maíz de 5.5 m de largo, separados a 0.75 m entre hileras y 0.50 m entre golpes, dejando dos plantas por golpe, para una densidad teórica de 5.33 pl/m². Después de la siembra del maíz, se realizó el control de malezas con la aplicación de la mezcla de atrazina más pendimetalina a razón de 2.0 + 2.0 l/ha, con posteriores limpiezas manuales. La fertilización consistió de 60 kg de P₂O₅/ha más la mitad del N a la siembra. En 1994 se le aplicó también 20 kg de S en forma de sulfato de calcio dihidratado. El resto del N se aplicó en forma de urea 30-35 días después de la siembra (dds). Se tomaron datos del peso de las leguminosas y el contenido de N al momento de cortarlas, contenido de N en la hoja de la mazorca al momento de la floración, número de plantas y mazorcas a la cosecha, rendimiento y porcentaje de humedad del grano. La precipitación de esta localidad se observa en el Cuadro 2.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados muestran diferencias significativas para rendimiento y algunos de sus componentes en los distintos factores estudiados, así como en algunas de las interacciones (Cuadro 3). En el análisis estadístico se observó que los factores Dosis de N, Año y Leguminosas (Sistemas), absorben la mayor parte de la variación del experimento (90.9%), con un 37.6, 27.9 y 25.4%, respectivamente. Los otros componentes a pesar de que ciertos presentan diferencias estadísticas, sólo alcanzan el 9.1% de la variación total del experimento para rendimiento de grano. Los otros componentes del rendimiento siguen la misma tendencia que la observada en el rendimiento.

Cuadro 1. Análisis de suelo para cada parcela en rotación, Río Hato, Panamá 1993-94.

Sistema	pH	A-L-Arc	P	K	Ca	Mg	Al	M.O.	Fe	Zn
			μ g/ml		meq/100 ml			%	μ g/ml	
Mucuna										
Mayo'93	5.6	58-20-22	1.7	94.1	0.9	0.6	0.1	2.28	1.7	0.4
Sep'93	5.6	36-38-26	2.4	161.0	0.9	0.2	0.1	3.08	2.5	0.4
Mayo'94	5.6	38-38-24	2.4	110.8	0.8	0.2	0.1	2.25	2.5	0.4
Sep '94	5.6	38-32-30	2.6	98.0	0.9	0.2	0.2	2.50	3.0	0.4
Sin Leguminosas										
Mayo'93	5.6	58-20-22	1.7	94.1	0.9	0.6	0.1	2.28	1.7	0.4
Sep'93	5.8	70-16-14	1.9	180.0	0.6	0.2	0.1	2.55	1.1	0.2
Mayo'94	5.8	76-18-16	1.5	47.0	0.6	0.2	0.1	1.74	1.0	1.3
Sep'94	5.8	62-18-20	5.0	82.3	0.9	0.2	0.2	2.10	3.6	0.3

Cuadro 2. Precipitación pluvial (mm) en el campo Experimental de Río Hato desde mayo hasta diciembre de 1993-1994.

Mes	Días		
	1-10	11-20	21-30/31
		1993	
May	52.7	42.5	35.0
Jun	0.0	7.5	100.0
Jul	59.9	31.0	31.4
Ago	23.2	37.5	104.3
Sep	22.4	12.6	59.9
Oct	0.0	62.0	4.6
Nov	32.5	142.8	83.5
Dic	0.0	25.1	0.0
		1994	
May	55.0	97.9	103.5
Jun	17.0	40.7	81.0
Jul	40.7	11.8	4.9
Ago	109.7	6.3	70.8
Sep	4.5	21.5	68.5
Oct	128.7	45.9	80.2
Nov	74.4	67.5	29.3
Dic	29.0	0.0	0.0

Producción de Leguminosas

El análisis de laboratorio de la mucuna mostró un contenido de 2.93% de N, mientras que para el residuo en la superficie del suelo, el porcentaje obtenido fue de 1.20%. La cantidad de materia seca en las parcelas de mucuna, en agosto fue de 6.13 y 5.90 t/ha, más 2.62 y 2.45 t/ha del residuo, para 1993 y 1994, respectivamente. Esto equivale a incorporar 211 y 202 kg de N/ha, en agosto de ambos años (Cuadro 4).

Efecto Residual de la Mucuna

Se encontró que hubo una respuesta altamente significativa por el efecto residual de la Mucuna y los distintos sistemas evaluados. Los rendimientos más altos se obtuvieron en las parcelas que tenían la Mucuna y por último la parcela sin rotación.

En relación a los sistemas, se encontró que el rendimiento más alto se obtuvo en el sistema **MucR** con 4.97, le siguió **MucF** (4.42 t/ha), **MucR+F** (4.12 t/ha), y por último la parcela **SLeg** con un rendimiento de 2.50 t/ha. Todos ellos fueron estadísticamente diferentes al $P < 0/001$. Este mismo orden se observó en los componentes mazorcas por planta y peso de mazorcas siendo sus diferencias significativas al $P < 0.01$. Esto indica que la siembra de las leguminosas antes del maíz, favoreció el rendimiento y los otros componentes del cultivo. En relación al tamaño de la mazorca, las más grandes se lograron con los sistemas **MucR** y **MucR+F** con 99 y 98 g/mazorca, mientras que los tamaños más pequeños se obtuvieron con los sistemas **MucF** y **SLeg**. El número de pl/m² no presentó diferencias significativas, en donde el promedio de la población de los diferentes sistemas estuvo entre 5.28 a 5.06 pl/m². El número de mz/m² presentó diferencias al $P < 0.001$, observándose el promedio más bajo en el sistema **SLeg** con 4.16 mz/pl (Cuadro 5). Los resultados muestran que el sistema que sólo contenía las raíces (**MucR**), logró rendimientos superiores en comparación al sistema que evaluaba el efecto del forraje (**MucF**).

Cuadro 3. Análisis de varianza de las variables rendimiento de grano y sus componentes, Río Hato, Panamá, 1993-94.

F de Variación	Cuadrados Medios					
	g.l.	Rend	Pmz	Ptm ²	Mzm ²	Mz/pta
Año	1	43.95**	13986**	0.13 ^{ns}	6.41**	0.367**
Rep(Año)	2	0.74	401	0.02	0.03	0.003
Leg	3	40.06**	13818**	0.38 ^{ns}	5.48**	0.202**
Rep x Leg	6	1.10	387	0.16	0.09	0.007
Lab	1	0.04 ^{ns}	21.2 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
Leg x Lab	3	0.52 ^{ns}	318 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.24**	0.008 ^{ns}
Rep x Lab(Leg)	8	0.25	128	0.06	0.05	0.004
Nit	2	59.31**	13499**	0.81**	16.57**	0.4133**
Leg x Nit	6	1.72**	769**	0.17 ^a	1.69**	0.062**
Lab x Nit	2	0.12 ^{ns}	67.1 ^{ns}	0.27*	0.09 ^{ns}	0.013 ^a
Leg x Lab x Nit	6	0.14 ^{ns}	95.1 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.001 ^{ns}
Leg x Año	3	3.38**	1016**	0.45**	3.34**	0.074**
Lab x Año	1	0.76 ^a	45.9 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.011 ^{ns}
Nit x Año	2	0.46 ^{ns}	18.34 ^{ns}	0.09 ^{ns}	3.64**	0.205**
Leg x Lab x Año	3	2.53**	712**	0.02 ^{ns}	0.58**	0.023**
Leg x Nit x Año	6	0.94**	180*	0.27**	0.82**	0.017**
Lab x Nit x Año	2	1.38**	421**	0.09 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.007 ^{ns}
Error	82	0.285	87.47	0.089	0.164	0.005
C.V. (%)		13.38	11.55	5.82	8.57	7.68

*, **, *** se refieren a $P < F$ de 10, 5, 1 y 0.1%, respectivamente.

Cuadro 4. Producción de materia seca de mucuna, Río Hato, Panamá, 1993-1994.

Mucuna	Rend t/ha	%N	Kg N/ha
		1993	
Mat. Verde	6.13	2.93	179.6
Residuo	2.62	1.20	31.4
			211.0
		1994	
Mat. Verde	5.90	2.93	172.9
Residuo	2.45	1.20	29.4
			202.3

Cuadro 5. Rendimiento de grano y sus componentes, según sistemas evaluados, Río Hato, Panamá, 1993-94.

Sist	Rend t/ha	Ptm ²	Mzm ²	Pmz gr	MxP
MucR	4.97	5.16	4.99	98.	0.97
MucR+F	4.42	5.06	4.83	90	0.96
MucF	4.12	5.28	4.96	83	0.94
SLeg	2.50	5.10	4.16	53	0.81

Esto sugiere que la mayoría del contenido de N que acumulan las hojas y tallos de las leguminosas no es aprovechado por el cultivo en rotación. Las ganancias o respuestas positivas observadas en las parcelas que sólo contenían las raíces, por su parte sugieren, que el mejoramiento físico que puede sufrir el suelo, además de la cantidad de N que es fijado durante el crecimiento o desarrollo de las leguminosas, así como, el contenido de N que tienen las raíces, son aprovechados o revierten en mayores beneficios para el cultivo de rotación. Otra explicación posible es que, debido al crecimiento de las raíces de la leguminosa, se aumenta el contenido de micorrizas en el suelo, favoreciendo el mejor desarrollo del cultivo en rotación.

Dentro de los resultados observados sobresale el hecho de que las parcelas con **MucR** superaron en rendimiento a las parcelas de **MucR+F** y **MucF**. Esta situación se pudo deber, a que, al momento de la siembra del maíz, los dos sistemas que incluyen el forraje de la mucuna, presentaron un alto volumen de materia seca en la superficie (mantillo), dificultando de este modo la emergencia del maíz, situación que no se dio en las parcela que no incluyó el forraje. Debemos señalar además, de que es posible, que el crecimiento del maíz se vea afectado por la descomposición de la gran cantidad de materia verde de esta leguminosa.

Respuesta a las Dosis de Nitrógeno

La respuesta de la aplicación del nitrógeno fue altamente significativa. Los rendimientos obtenidos para el promedio de las dosis de 0, 75 y 150 kg N/ha fue de 2.70, 4.46 y 4.81 t/ha, respectivamente. En relación al peso de las mazorcas se observó que a medida que se aumenta la cantidad de N el tamaño de la mazorca es mayor. Para las variables pl/m² y mz/m² se observó que los promedios más bajos se encuentran en las parcelas sin N (Cuadro 6).

Efecto de la Labranza

En relación con el sistema de labranza, el mismo no mostró diferencias estadísticas, aunque, el promedio de las parcelas en labranza de convencional fue ligeramente mayor, que las parcelas en labranza de conservación (4.03 vs 3.96 t/ha, respectivamente). La precipitación errática que se presenta comúnmente en esta zona, parece favorecer a las parcelas con residuos, que conserva mejor la humedad existente.

El resto de los componentes del rendimiento no mostró diferencias significativas entre sí (Cuadro 7). Resultados similares encontró Gordón et al. (1993 y 1994), de manera que el efecto de disminuir las pérdidas de la humedad del suelo, sumado al efecto positivo encontrado en los sistemas que sólo incluyen las raíces, indican que es mejor dejar las plantas de la leguminosa a manera de mantillo y practicar la labranza de conservación. Contrario a estos resultados, Costa et al. (1990), encontraron que parcelas sin incorporación de leguminosas rindieron menos en comparación con las con incorporación, debido a que en las no incorporadas había mayores pérdidas de N .

Interacción Leg x Dosis de N

La respuesta a N fue altamente significativa y dependió del manejo de los residuos de las leguminosas. En el análisis de varianza se observó que la interacción leguminosas por N fue significativa (P<0.01). Además del análisis de varianza, se realizó un análisis para determinar la curva de rendimiento máximo estable (*plateau*) en función de las dosis de N aplicado en forma de urea, para cada sistema (Cuadro 8). El aporte de N al cultivo por parte de los sistemas evaluados se puede observar en el rendimiento del maíz en el intercepto de la curva con el eje del rendimiento, el cual representa el rendimiento del cultivo cuando no se aplica N al sistema.

Cuadro 6. Rendimiento de grano y sus componentes, según dosis de N aplicadas, Río Hato, Panamá, 1993-94.

Dosis de N	0	75	150
Rend (t/ha)	2.70	4.46	4.81
Pmz (g/ha)	61.39	87.90	93.37
Mz/pt	0.81	0.96	0.98
Ptm ²	5.00	5.21	5.23
Mzm ²	4.04	5.01	5.13

Cuadro 7. Rendimiento y sus componentes, según tipo de labranza, Río Hato, Panamá, 1993-94.

Labranza	Convencional	Conservación
Rend	4.03	3.96
Pmz	80.78	81.09
Mz/pt	0.92	0.92
Mzm ²	4.76	4.70
Ptm ²	5.19	5.11

En el sistema **SLeg**, el valor del intercepto fue de 0.81 t/ha. Este bajo rendimiento se puede explicar, por el bajo contenido de materia orgánica que muestran los distintos análisis del suelo en esta parcela. El incremento en el rendimiento de grano sin aplicar N a los sistemas **MucR** y **MucR+F** fue significativamente superior, ya que, el valor del intercepto fue de 3.83 y 3.20 t/ha, para ambos respectivamente. Estos valores superan al testigo **SLeg** por el orden de 3.05 y 2.39 t/ha. (Cuadro 8).

En este análisis se encontró que el rendimiento máximo (*plateau*) que se puede obtener en el sistema **SLeg** es de 3.83 t/ha, el cual es superado por los sistemas **MucR**, **MucF** en más de 1.5 t/ha, ya que, el *plateau* en estos fue de 5.65 y 5.33 t/ha, para cada sistema respectivamente. Este incremento en el techo del rendimiento, que se puede lograr implementando la rotación de la mucuna en la producción del maíz

mejoraría la eficiencia de los productores. El punto de inflexión de las curvas, indica la dosis en la cual la respuesta del cultivo permanece estable, es decir, el rendimiento no aumenta por incrementos en las dosis de N aplicado. Al analizar los valores encontrados se observa como en el sistema **SLeg** se necesitan 110 kg/ha, para lograr el rendimiento máximo, mientras que en los sistemas que involucran la mucuna la dosis óptima se redujo en 40 kg/ha cuando se rotó con el sistema **MucR+F**, esta reducción fue menor en los otros dos sistemas. Esta reducción implica un ahorro significativo en la utilización de urea en la producción del cultivo (Figura 1).

Se debe señalar, que el efecto de la rotación de las leguminosas, parece involucrar algo más, que el aporte de N calculado en base a la producción de biomasa, como lo puede ser, el mejoramiento en la estructura del suelo o algunos componentes que no se pudieron medir en este trabajo.

Cuadro 9. Medias de rendimiento de grano obtenido en el ensayo de rotación, según sistemas y dosis de N, Río Hato, 1993-94.

Sistemas	Dosis de N		
	0	75	150
	Rend (t/ha)		
MucR+F	3.20	4.69	4.48
MucR	3.86	5.42	5.67
MucF	2.96	4.86	5.33
S Leg	0.81	2.87	3.83
	Maz/planta		
MucR+F	0.99	1.04	1.01
MucR	0.93	1.01	1.01
MucF	0.87	0.98	1.03
S Leg	0.58	0.88	0.96

Cuadro 8. Valores para la curva de respuesta del rendimiento de grano en función de las dosis de N aplicada, Río Hato, Panamá, 1993-94.

Sistemas	Intercepto (b ₀)	Pendiente (b ₁)	Rend Máximo (Plateau)	Dosis N de inflexión	R ²
Muc R+F	3.20	0.020	4.59	69	0.867***
Muc R	3.86	0.021	5.65	86	0.92***
Muc F	3.04	0.027	5.33	94	0.81***
S Leg	0.81	0.027	3.83	110	0.94***

*** se refiere a P>t de 0.1%, respectivamente

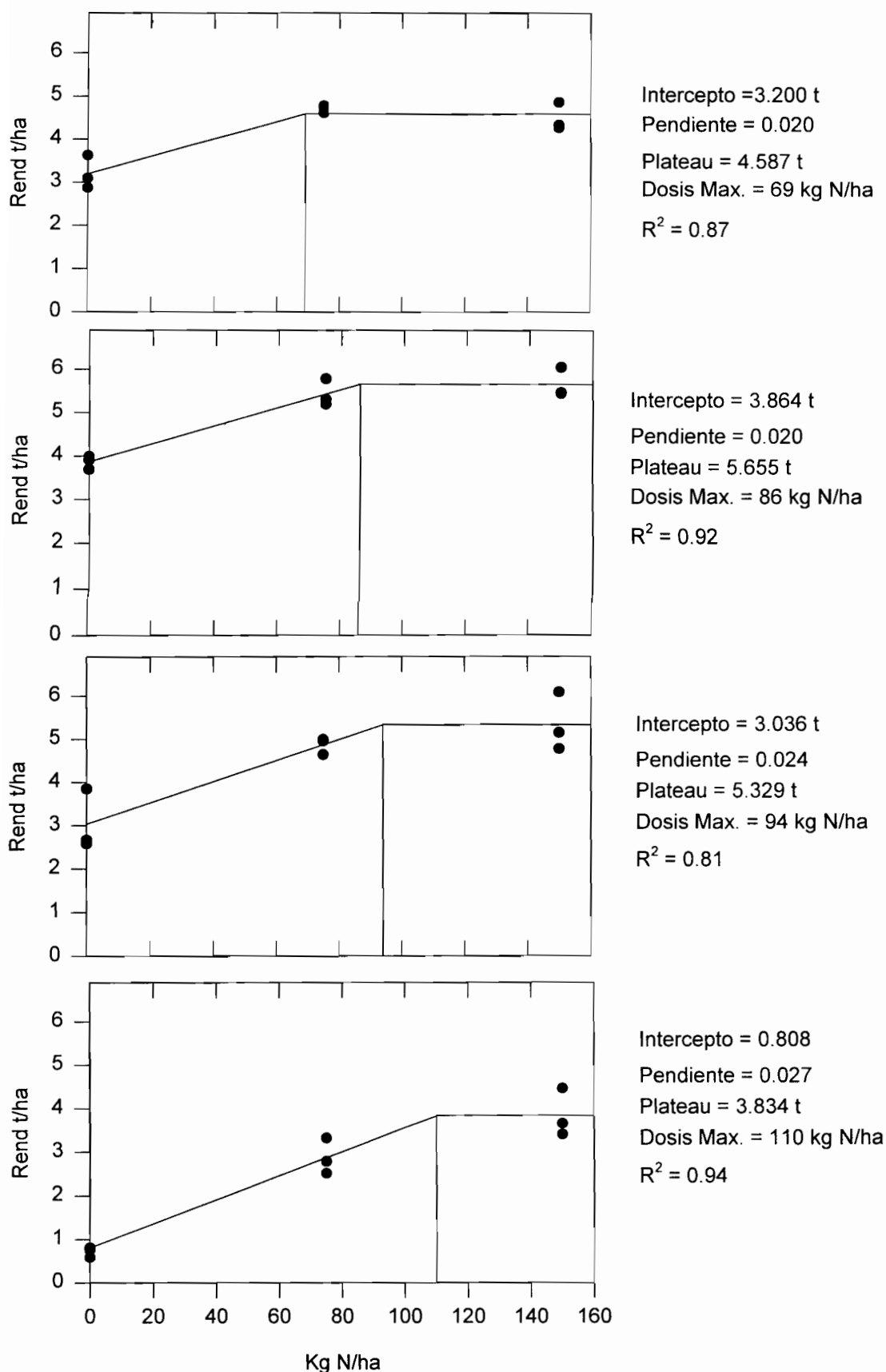


Figura 1. Curvas de rendimiento de los sistemas que incluyeron Mucuna y el sistema sin rotación de leguminosas, Río Hato, Panamá, 1993-95

CONCLUSIONES

1. La respuesta por el efecto residual de las leguminosas fue altamente significativa.
2. La respuesta de la aplicación del nitrógeno fue altamente significativa para los niveles de 0,75 y 150 kg/ha
3. El sistema de labranza no mostró diferencias estadísticas aunque el promedio de las parcelas sin incorporación de residuos fue mayor que las parcelas de labranza convencional.
4. Se encontró que el rendimiento máximo que se puede obtener en los sistemas **SLeg**, **MucR**, **MucF** y **MucR+F** fue de 3.83, 5.65, 5.33 y 4.59 t/ha, para cada sistema.
5. Las dosis de N que maximizan los rendimientos para los sistemas **MucR+F**, **MucR**, **MucF** y **SLeg** fue de 69, 86, 94 y 110 kg N/ha, respectivamente.

REFERENCIAS

Barreto, H.J., C. Pérez, M.R. Fuentes y J.L. Quemé. 1992. Efecto de dosis de urea-N, insecticida y genotipo en el comportamiento del maíz (*Zea mays* L.) bajo un sistema de labranza mínima en rotación con dos leguminosas de cobertura. *En*: Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM, 1991. pag 175-192.

Bouldin, D.R., J. Quintana y A. Suhet. 1989. Evaluation potential of legume residues. *En*: (Claude, N. ed) Trop Soils Technical Report. 1986-1987. North Caroline State University. Raleigh, N.C. pp 304-305.

Burle M, A.Suhet, J.Pereira, D.Resck, J.Peres, M.Croavo, W.Bowen, D.Bouldin and D.Lathwell. 1992. Legume green manures: Dry season survival and the effect on succeeding maize crops. Soil Management CRSP. NCSU, Raleigh N.C. Bulletin N° 92 35 p.

Costa, F.S.A., D.R. Bouldin and A.R. Suhet. 1990. Evaluation of N recovery from mucuna placed on the surface or incorporated in a Brazilian Oxisol. *Plant and Soil* 124:91-96.

Gordón, R., J.Franco, N.De Gracia, L.Martínez, A.González, A.de Herrera y J.Bolaños. 1993. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con canavalia y mucuna, bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1992-1993. *En*: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM, Vol. 4 pag 106-110.

Gordón, R., J.Franco, N.De Gracia y A.González 1994. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con canavalia y mucuna, bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1993-1994. *En* edición 11 pag

Wade, M.K. y P.A. Sánchez. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the amazon basin. *Agronomy Journal*. 75: 39-45.

Yost, R.S., D.O. Evans y N.A. Saidy. 1985. Tropical legumes for N production: growth and N content in relation to soil pH. *Trop. Agric. (Trinidad)*. 62: 20-24.

Evaluación de Diferentes Tipos de Rastrojo bajo cuatro Niveles de Nitrógeno, en el cultivo de Maíz, El Ejido, Panamá, 1994-95

Román Gordón¹, Jorge Franco², Andrés González² y Nivaldo de Gracia³

RESUMEN

Este ensayo reporta la respuesta del maíz a dos tipos de rastrojos (leguminosa, leguminosa + cereal) como mulch bajo labranza de conservación en diseño factorial con niveles de nitrógeno (0, 75, 150 y 225 kg N/ha). El diseño experimental utilizado fue el de parcelas divididas en un arreglo de bloques completos al azar con tres repeticiones. En ambos sistemas, el maíz respondió de manera diferente a N ($P < 0.05$). No se detectó interacción entre factores para rendimiento y sus componentes. El rendimiento de grano a las dosis de 0, 75, 150 y 225 kg de N/ha fue 2.67, 4.27, 4.85 y 4.98 t/ha, respectivamente. Esta ganancia en rendimiento se debió principalmente a incrementos en el número y peso de mazorcas. No se detectó diferencias significativas para las otras variables agronómicas.

El reciclaje de nutrimentos y la aplicación racional de la labranza son considerados elementos esenciales de una estrategia de producción sostenible para los sistemas de cultivos. El uso de leguminosas como abonos verdes es un método usado desde hace muchos años. Wade y Sánchez (1983), Yost et al. (1985), y Barreto et al (1982) informan de los beneficios de incorporar leguminosas para incorporar N al sistema mediante la fijación biológica. Gordón et al. (1994) reportaron que leguminosas como canavalia y mucuna, pueden sustituir mas de 150 kg N/ha a sistemas de maíz.

Desde hace varios años el IDIAP en conjunto con el PRM vienen promoviendo la labranza de conservación. Estudios recientes por Herrera et al. (1994) reportan un aumento en la adopción de este sistema en la región de Azuero. Adiciones de residuos al suelo alteran el ciclo del N, pudiendo afectar su disponibilidad para el cultivo. Por esta razón es importante entender la interacción entre el uso de residuos como mantillo y N (Barreto, 1989). Ensayos regionales del PRM sobre

esta interacción sugieren una inmovilización cercana a 60-80 kg N/ha por la descomposición del residuo o mantillo de maíz en sistemas de labranza de conservación (Sosa y Bolaños, 1993).

En Azuero, se ha incrementado el asocio de maíz con *Canavalia ensiformis* así como su uso como mantillo para la labranza de conservación. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de residuos con diferentes relaciones de C:N al rendimiento de maíz bajo distintas dosis de N.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Finca Experimental El Ejido, distrito de Los Santos, Panamá, a 30 msnm ($7^{\circ}55' N$, $80^{\circ}53' W$). El ensayo evaluó la respuesta del maíz a dos tipos de rastrojos (canavalia y una mezcla de residuos de maíz y canavalia) como mulch bajo labranza de conservación en arreglo factorial con niveles de N (0, 75, 150 y 225 kg N/ha). El diseño fue de parcelas divididas en bloques completos al azar con tres repeticiones. Para lograr estos rastrojos o residuos (parcela principal), se sembró una parcela de canavalia al inicio de lluvias (mayo); luego a finales de agosto se procedió a cortar todo el forraje, dejándolo sobre la superficie del suelo. Al momento del corte el total de canavalia que se usó como mulch fue 5.0 t/ha. A la mitad de la parcela se le procedió a colocarle tallos de maíz de una parcela contigua, a razón de 4.0 t/ha. Mientras que la otra mitad se dejó la canavalia sobre la superficie para hasta el momento de la siembra del maíz.

La unidad experimental fue de 4 surcos de 5.5 m de largo con una densidad teórica de 5.33 plantas/m². Para obtener esta población, el maíz se sembró a una distancia de 0.75 m entre hileras y 0.5 m entre golpes, dejando dos plantas por golpe. El cultivar utilizado fue el híbrido nacional P-8916, el cual fue tratado con el insecticida furatiocarb a razón de 8 gr i.a./kg de semilla. Para el control de malezas, se realizó una aplicación de glifosato en dosis de 4.0 l/ha, una semana antes de la siembra. La fertilización fosforada se realizó con la aplicación de 60 kg de P₂O₅ como super fosfato triple; La mitad del N se aplicó al momento de

¹ Ing. Agrónomo, M.Sc., ²Agrónomo, ³Ing. Agrónomo, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro Regional Agropecuario de Azuero.

la siembra, mientras que la otra mitad se aplicó a los 30 días después de la siembra. Se tomaron datos del peso y contenido de N de las leguminosas, al momento de cortarlas, así como número de plantas y mazorcas a la cosecha, rendimiento y humedad del grano. La precipitación se observa en el Cuadro 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este ensayo se observan en el Cuadro 2. Estos indican que hubo diferencias altamente significativas en la respuesta del maíz a las diferentes dosis de N en ambos sistemas. Los resultados del análisis estadístico indicaron de que hubo diferencias al 15% entre los dos sistemas estudiados. No se encontró interacción entre los distintos factores bajo estudio, para las variables del rendimiento y algunos de sus componentes (Cuadro 3).

El resultado del análisis de laboratorio de la canavalia (tallos más hojas) indicó que el porcentaje promedio de nitrógeno en la partes analizadas fue de 3.25%. La cantidad de materia seca en las parcelas de canavalia, al momento de realizar el corte fue de 5 t/ha, lo que equivalió a incorporar 162 kg de N/ha.

La respuesta a N fue altamente significativa, y dependió del manejo de los residuos de las parcelas. El rendimiento de maíz para las dosis de 0, 75, 150 y 225 kg de N/ha fue de 2.67, 4.27, 4.85 y 4.98 t/ha, respectivamente. En relación al peso de las mazorcas se observó que a medida que se aumenta la cantidad de N el tamaño de la mazorca es mayor. Este tamaño aumentó de 71 a 107 g/mazorca para las dosis de 0 a 225 kg N/ha, respectivamente. Para pl/m^2 no se encontró diferencias dosis de N, mientras que para el número de mz/m^2 se observaron diferencias altamente significativas, y los promedios más bajos se encontraron en las parcelas sin N (Cuadro 2).

Además del análisis de varianza, se realizó un análisis para determinar la curva de rendimiento máximo estable (*plateau*) en función de las dosis de N aplicado en forma de urea, para cada sistema (Cuadro

4). En este análisis se encontró que el rendimiento máximo (*plateau*) que se puede obtener en el sistema Can+Rastrojo de maíz es de 4.35 t/ha, el cual es superado en aproximadamente una tonelada (1.0 t/ha) por el sistema con rastrojos de canavalia, ya que, el *plateau* en este fue de 5.30 t/ha.

Cuadro 1. Precipitación pluvial (mm) en el campo Experimental de El Ejido desde agosto hasta diciembre de 1994

Mes	Días		
	1-10	11-20	21-30/31
Sep	0.0	23.5	121.0
Oct	79.0	150.0	62.0
Nov	184.0	74.0	33.0
Dic	8.5	0.0	0.0

Cuadro 2 Resultado del rendimiento y algunos componentes, del ensayo de tipo de rastrojos, El Ejido, Panamá, 1994-95.

Sistema	Dosis de N (kg/ha)			
	0	75	150	225
	Rend Grano (t/ha)			
Canavalia	2.74	4.35	5.30	5.31
Can + Rast	2.60	4.19	4.40	4.65
Prom.	2.67	4.27	4.85	4.98
	Peso mazorca (g)			
Canavalia	75.2	91.3	106.7	116.4
Can + Rast	66.7	86.6	97.51	98.0
Prom.	70.9	88.9	102.1	107.2
	Mazorcas/m²			
Canavalia	3.96	4.85	4.52	4.73
Can + Rast	3.63	4.81	4.97	4.57
	Plantas/m²			
Canavalia	4.36	4.36	4.56	4.20
Can + Rast	4.48	4.84	4.40	4.44

Cuadro 3 Análisis de varianza del rendimiento de grano, peso de mazorca y mz/m^2 en el ensayo de evaluación de diferentes tipos de rastrojo.

F de V	Cuadrados Medios			
	g.l.	Rend G	P mz	Mz/m ²
Sis	1	1.28	624	0.003
Rep(Sis)	4	0.43	234	0.168
Nit	3	6.73*	1569*	1.361*
NitxSis	3	0.21	51	0.163
Error	23	0.17	71	0.204
C.V.		9.8	9.1	10.0

* se refiere a P>F al 0.01% de significancia

Cuadro 4. Valores para la curva de respuesta del rendimiento de grano en función de las dosis de N aplicada.

Sistemas	Intercepto (b ₀)	Pendiente (b ₁)	Rend Máximo (Plateau)	Dosis N de inflexión	R ²
Canavalia	2.743	0.021	5.303	119	0.87*
Canavalia + Rastrojo de Maíz	2.603	0.021	4.525	90	0.79*

* se refieren a P>F de 0.1%

Este incremento en el techo del rendimiento se puede lograr implementando la rotación de maíz con canavalia, indica que el rastrojo de canavalia, el cual tiene un alto contenido de N (relación C:N baja), aporta N al sistema.

El punto de inflexión de las curvas, indica la dosis en la cual la respuesta del cultivo permanece estable, es decir, el rendimiento no aumenta por incrementos en las dosis de N aplicado. Al analizar los valores encontrados se observó como en ambos sistemas fue de 90 y 119 kg de N/ha, para lograr el rendimiento máximo. El aporte de N al cultivo por parte de los sistemas evaluados se puede observar en el rendimiento del maíz en el intercepto de la curva con el eje del rendimiento, el cual representa el rendimiento del cultivo cuando no se aplica N al sistema.

CONCLUSIONES

1. Se encontró una respuesta significativa a la aplicación de N al maíz.
2. El rastrojo de maíz reduce el potencial de rendimiento del sistema, debido quizás a la fijación de parte del nitrógeno de la canavalia.
3. El máximo rendimiento se obtuvo con las dosis de 119 y 90 kg de N/ha para los sistemas canavalia y Canavalia+Rastrojo de maíz, respectivamente.
4. El nivel de 0 N afecta principalmente el número de mazorcas cosechadas y el peso de las mismas.

REFERENCIAS

- Barreto, H. 1989. Cambios en propiedades químicas, patrones de fertilización y enclamiento en suelos bajo labranza cero. Pp. 43-70, en: Barreto et al. (eds) Labranza de Conservación en Maíz, CIMMYT-PROCIANDINO, México.
- Barreto, H.J., C.Pérez, M.R.Fuentes y J.L.Quemé. 1992. Efecto de dosis de urea-N, insecticida y genotipo en el comportamiento del maíz (*Zea mays* L.) bajo un sistema de labranza mínima en rotación con dos leguminosas de cobertura. En: Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM, 1991. Vol. 3 pag. 1-8.
- Gordón, R., J.Franco, N.De Gracia, L.Martínez, A.González, A.de Herrera y J.Bolaños. 1993. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con canavalia y mucuna, bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1992-1993. En: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM, Vol 4 pag 106-110.
- Gordón, R., J.Franco, N.De Gracia y A.González 1994. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con canavalia y mucuna, bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1993-1994. En edición 11 pag
- Sosa, H. y J.Bolaños. 1993. Respuesta diferencial del maíz a la labranza de conservación a distintas dosis de nitrógeno. En: Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM. Vol. 4 pag. 119-123.
- Wade, M.K., and P.A.Sánchez. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the amazon basin. *Agronomy Journal*. 75: 39-45.
- Yost, R.S., D.O.Evans and N.A.Saidy. 1985. Tropical legumes for N production growth and N content in relation to soil pH. *Trop. Agric. (Trinidad)* 62:20-24.

Efecto de la Densidad de Siembra y Arreglo Espacial Sobre la Producción de Grano y de Forraje de *Canavalia Ensiformis*, Los Santos, Panamá, 1994

Domiciano Herrera¹, Benigno Guerrero² y Román Gordón¹

RESUMEN

Se realizó un experimento en la finca experimental del Ejido, para determinar el efecto de la densidad de siembra y arreglo espacial sobre el rendimiento de grano y de forraje en el cultivo de *Canavalia ensiformis*. Se evaluaron dos distancia entre hileras, tres distancia entre plantas y dos niveles de plantas/golpe. Se encontró que la distancia entre hilera y la distancia entre golpes, no afectó significativamente la producción de grano y de forraje de canavalia. Sin embargo, el incremento de una a dos plantas por golpe afectó negativamente la producción de grano, pero no la de forraje. Se determinó una población óptima de canavalia para la producción de grano y forraje de 6.58 y 7.41 pl/m², con rendimientos de 3.30 y 12.44 t/ha, respectivamente.

El déficit de proteína cruda, durante la época seca, constituye uno de los principales factores que limita la producción de leche y carne, en las explotaciones ganaderas de la región de Azuero. Por lo tanto, se requiere del uso de leguminosas forrajeras que permitan mejorar la disponibilidad de este nutrimento. Así, *Canavalia ensiformis* es considerada una leguminosa muy promisoriosa, ya que tiene un alto potencial de producción de materia seca, tolera un amplio rango de texturas y fertilidad del suelo, crece bien en suelos de tierras bajas y pedregosos, así como en suelos ácidos y salinos, con un rango de pH entre 4.3 a 7.5. También se desarrolla bien en sitios, donde la pluviosidad oscila entre 700 y 4200 mm y es resistente a períodos de sequía prolongados (Jaramillo 1983; Arango y Mendoza 1984, citados por Bernal y Jiménez, 1990).

Esta leguminosa, ha sido motivo de estudio durante los últimos años en Panamá, especialmente en Azuero, sin embargo, los trabajos se han dirigido a la siembra en asocio con maíz o en cultivos de rotación; por lo tanto, no existe información a nivel local, sobre el manejo agronómico de canavalia en parcelas puras para la

producción de forraje o de grano (Gordón et al., 1993; Herrera et al., 1993).

Estudios realizados en Venezuela han mostrado que la densidad de siembra es uno de los principales factores que determinan la producción de materia seca de esta especie. Martín (1983) (citado por Bernal y Jiménez, 1990), al comparar tres densidades de siembra (25, 50 y 83 mil pl/ha), encontró mayores rendimientos con la densidad intermedia. Por otro lado, Oviedo y Guzmán (1983), (citados por Bernal y Jiménez, 1990), realizaron un ensayo donde evaluaron el efecto de cuatro distancias entre hileras y plantas, y encontraron que la densidad final es la variable de mayor incidencia sobre la producción de grano de canavalia.

El presente trabajo se realizó con el propósito de determinar el efecto de la densidad de siembra y arreglo espacial sobre el rendimiento de grano y de forraje en el cultivo de *Canavalia ensiformis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la Finca Experimental de El Ejido, provincia de Los Santos (7° 53' N, 80°23' W), a 26 msnm, con 1122 mm de precipitación media anual y 27.3°C de temperatura media. Los suelos son profundos, bien drenados, con colores pardo rojizo en los horizontes superficiales y pardo amarillento en los horizontes más profundo (Jaramillo, 1985). En el Cuadro 1, se presentan los resultados del análisis de suelo del área experimental.

El ensayo se sembró durante la segunda época, en el período comprendido desde septiembre de 1994 a enero de 1995. Para el establecimiento de la canavalia, el suelo se preparó en la forma convencional (arado y dos pases de rastra); la siembra se hizo en forma manual, el arreglo espacial y la densidad de siembra se hizo de acuerdo a los tratamientos (Cuadro 2). Se fertilizó con fósforo a razón de 60 kg de P₂O₅/ha, al momento de la siembra en todos los tratamientos. Durante el desarrollo del cultivo, no se presentó problemas de malezas.

El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas, (parcelas principales: distancia entre hileras),

¹ Ing. Agrónomo MSc, ² Lic. Administración de Empresas, ³ Ing. Agrónomo MSc, Centro Regional "Ing. Germán De León", IDIAP - Los Santos.

en diseño completamente al azar, subparcelas en arreglo factorial de dos factores (distancia entre plantas y número de plantas/golpe), con tres repeticiones. Se utilizaron dos distancias entre hileras (0.6 y 0.9 m), tres distancias entre plantas (0.3, 0.4 y 0.5 m) y dos niveles de plantas/golpe (1 y 2 plantas/golpe) (Cuadro 2).

El tamaño de las parcelas experimentales fue de 4 surcos de 6 m de largo. En cada parcela experimental, se tomaron datos sobre la producción de grano y de forraje. La cosecha de de forraje se efectuó a los 100 días después de la siembra (dds) y la producción de grano a los 140 dds. Para ambas variables se cosecharon 3 m de los dos surcos centrales. Se calculó el óptimo físico para variable rendimiento de grano y forraje, tomando en cuenta la ecuación, en donde la variable independiente es el número de pl/m². Para esto se le aplicó la primera derivada a la función de rendimiento y se igualó la misma a cero.

Cuadro 1. Propiedades químicas del suelo.

pH	5.40
P (ug/ml)	3.30
K (ug/ml)	143.70
Ca (meg/ml)	10.02
Mn (meg/ml)	6.27
Al	tr
M.O %	2.80
Mg (ug/ml)	29.40
Fe (ug/ml)	22.20
Zn (ug/ml)	2.40

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos promedio de forraje y de grano de Canavalia, se presentan en el Cuadro 3. En el análisis de varianza, se determinó que la distancia entre hileras y la distancia entre golpes, no afectó significativamente ($P < 0.05$), el rendimiento grano y de forraje de canavalia. Al igual que, el número de plantas por golpe, que no afectó significativamente ($P < 0.05$), el rendimiento de forraje, aunque se observó una tendencia a incrementar el rendimiento con dos plantas/golpe). Probablemente este efecto estuvo relacionado a una mayor población de plantas. En cambio, el rendimiento de grano fue mayor ($P < 0.01$), con una planta/golpe, en comparación a dos plantas/golpe. Esto se debió probablemente al mayor número de vainas por planta, que se logró con la siembra de una planta por golpe, la cual se incrementó significativamente ($P < 0.05$) de 2.5 a 5.6 vainas/planta.

Al realizar el análisis de regresión, se encontró una significancia alta para el coeficiente de regresión, tanto para grano como para forraje. Se calculó el óptimo físico para cada variable y se encontró que la población óptima para grano fue de 6.58 pl/m², con un rendimiento de grano de 3.30 t/ha. Mientras para la producción de forraje, la población óptima de plantas de canavalia fue de 7.41 pl/m², con un rendimiento estimado de materia seca de 12.44 t/ha, en un solo corte a los 100 dds. El Cuadro 4 presenta las ecuaciones de regresión para la producción de forraje y de grano de canavalia, donde Y corresponde al rendimiento de grano o de forraje (t/ha) y X, el número de plantas/m².

Cuadro 2. Descripción de los Tratamientos evaluados en el ensayo.

Tratamiento	Distancia entre Hileras (m)	Distancia entre Plantas (m)	No. de plantas/golpe	No. de plantas/m ²
1	0.60	0.30	1	5.55
2	0.60	0.30	2	11.11
3	0.60	0.40	1	4.16
4	0.60	0.40	2	8.33
5	0.60	0.50	1	3.33
6	0.60	0.50	2	6.66
7	0.90	0.30	1	3.70
8	0.90	0.30	2	7.40
9	0.90	0.40	1	2.77
10	0.90	0.40	2	5.55
11	0.90	0.50	1	2.22
12	0.90	0.50	2	4.44

Cuadro 3. Rendimiento de forraje y de grano de Canavalia, según parámetros evaluados.

Parámetro	Forraje t/ha de materia seca	Grano t/ha
Distancia entre hileras (m)		
0.60	10.8	2.78
0.90	10.10	2.88
Distancia entre golpe (m)		
0.30	10.86	2.75
0.40	10.32	2.91
0.50	10.16	2.84
Planta/golpe		
1	10.25	3.08
2	10.64	2.58

Cuadro 4. Ecuaciones de regresión del rendimiento de grano y forraje, según la población de plantas de canavalia.

Variable	Ecuación	R ²	NS
Producción de grano	$Y=1.001 X-0.076 X^2$	0.917	.0001
Producción de forraje	$Y=3.353 X-0.226 X^2$	0.958	.0001

CONCLUSIONES

1. En base a los resultados obtenidos se concluye que la distancia entre hilera y la distancia entre plantas no afecta la producción de grano y forraje de canavalia.
2. Sin embargo, la siembra de dos plantas/golpe reduce, significativamente la producción de grano de canavalia, no así, la producción de forraje, por lo tanto, se recomienda la siembra de una planta por golpe para la producción de grano.
3. Las poblaciones óptimas de canavalia para la producción de grano y forraje es 6.58 y 7.41 pl/m², respectivamente.

REFERENCIAS

- Bernal, H. Y y L.C. Jiménez. 1990. Haba Criolla. Canavalia ensiformis (L) DC. Secretaria Ejecutiva Del Convenio Andrés Bello. Bogotá, Colombia. 531 p.
- Gordón, R., N. De Gracia, J. Franco, A. González y J. Bolaños. 1993. Asocio de Maíz con Canavalia a distintas épocas y arreglos de siembra en Azuero, Panamá, 1992-93. En: Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM. Vol. 4. p 102-105.
- Herrera, D; A. de Herrera, B. Guerrero, O. Vergara y R. Gordón. 1993. Evaluación Bioeconómica del uso de rastrojo de maíz en asocio con Canavalia ensiformis, Azuero, Panamá, 1992-1993. En: Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM. Vol. 4,p 176-183.
- Jaramillo, S. 1984. Los Suelos de las áreas de investigación pecuaria. Origen y Clasificación. En: Memoria del Primer Curso Internacional sobre Colección, Evaluación de Germoplasma y Producción de Semilla Forrajera. IDIAP. Panamá. p 195-218.

El Asocio de Maíz con Canavalia y sus Beneficios

José de Jesús Guzmán, Virginia Marrero y Adilen Roque¹

RESUMEN

Para conocer la incorporación de nutrimentos y materia seca al suelo que realiza la canavalia asociada al maíz y sus efectos en los rendimientos de la gramínea, se condujo un experimento en la Estación Experimental de Granos El Tomeguín, en un suelo ferralítico rojo (oxisol) en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se encontró que los diferentes socios de la leguminosa con el maíz no afectaron sus rendimientos, la incorporación de materia seca y nutrimentos al sistema por la canavalia fue mayor cuando se asocio a la menor densidad de población del maíz y su siembra se realizó al unísono.

La agricultura cubana por muchos años contó con recursos para la utilización de fertilizantes químicos y herbicidas, situación que ha variado marcadamente, por ello en la actualidad la investigación busca alternativas para sustituir parcial o totalmente estas necesidades por opciones que permitan limitar la aparición de plantas indeseables, mantener la fertilidad de los suelos y los rendimientos de los cultivos. El uso de abonos verdes y otras fuentes orgánicas puede cumplir con estos requisitos y están al alcance del hombre, FAO (1983), una de las variantes es la de asociar al maíz una leguminosa como la canavalia que aporta nutrientes al suelo, no sólo N fijado por el *Rhizobium*, sino también recicla P y K en su materia seca, todo ello de interés para las áreas agrícolas del país, debido a que el maíz se siembra para consumo en primavera como rotación para las siembras de cultivos principales en invierno.

MATERIALES Y MÉTODOS

En un suelo ferralítico rojo hidratado (Oxisol), (Cuadro 1) de la Estación Experimental de Granos y Cuarentena El Tomeguín, se desarrolló un experimento durante la época de frío (Diciembre-Abril), para estudiar el asocio de la canavalia (*Canavalia ensiformis*

L.) con maíz, usando la variedad P-7928 de polinización abierta. Los tratamientos fueron:

1. Maíz en monocultivo (44 mil pl/ha)
2. Maíz a 44 mil pl/ha + asocio a 0 dds con canavalia a 44 mil pl/ha
3. Maíz a 44 mil pl/ha + asocio a 30 dds con canavalia a 44 mil pl/ha
4. Maíz en monocultivo a 66 mil pl/ha
5. Maíz a 66 mil pl/ha + asocio a 0 dds con canavalia a 22 mil pl/ha
6. Maíz a 66 mil pl/ha + asocio a 30 dds con canavalia a 44 mil pl/ha

Se utilizaron parcelas de 6 surcos de 5 m de largo con un área de cálculo de 18 m². Se fertilizó sólo el maíz con una dosis de 150 kg de N/ha, aplicado 1/3 en siembra y 2/3 a los 25 días después de la siembra (dds). Se empleó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los efectos de los diferentes socios en la cobertura del suelo a los 45 dds (Cuadro 2), mostró que la densidad del maíz no influyó significativamente en la cobertura que realiza la leguminosa y si el momento de inserción de la misma, pues la siembra simultánea logró cubrir 68.7% del suelo, lo que deja poco margen a la aparición de plantas indeseables y una mayor conservación de la humedad de este.

En la producción de materia verde (Cuadro 3) el asocio de mayor producción para el maíz fue la siembra de 66 mil pl/ha con canavalia a 44 mil pl/ha a los 30 dds, se observó que las mayores producciones siempre fueron obtenidas con la mayor densidad del maíz, en la canavalia se encontró la producción mayor en siembra simultánea, en la medida que la densidad de la leguminosa aumentó y su inserción fue desplazada 30 dds, la producción de materia verde disminuyó significativamente. En el conjunto las producciones mayores mantuvieron una tendencia similar, sin embargo cuando el maíz y la canavalia se utilizó la densidad baja y siembra simultánea, la disminución en la producción de materia verde del maíz, fue compensada por la canavalia.

¹Investigadores del Instituto de Investigaciones Horticolas Lilibana Dimitrova, Carretera Bejucal-Quivicán Km 33 ½, La Habana.

En la producción de materia seca del maíz (Cuadro 4) no se alcanzaron diferencias significativas, los mayores valores (por encima de las 11 t/ha) se observaron cuando se utilizó la mayor densidad (66 mil pl/ha), Zea (1992) en un estudio similar buscando el efecto residual de la leguminosa logró producciones de materia seca muy inferiores, estos resultados evidencian que el asocio de la leguminosa en espacio y tiempo no ocasionó efectos negativos en el crecimiento y desarrollo del cultivo principal.

En la canavalia (Cuadro 4) se obtuvo un comportamiento igual al logrado con la materia verde, pues a medida que aumentó la densidad de población del maíz y la canavalia y se desfasó la siembra de la leguminosa se deprimió su producción, Gordon (1993), obtuvo resultados similares en valores de producción y tiempo de inserción de la leguminosa.

En el conjunto, el mayor reciclaje fue provocado cuando la canavalia (22 mil pl/ha) fue sembrada al

unísono con el maíz, este asocio proporcionó también los mayores reciclajes de N y P con valores de 157.3 y 26.7 kg/ha respectivamente (Cuadro 5 y 6), Porras (1993), cita aportes por la biomasa de maíz muy similares y Nutman (1976) precisa aportes de 49 kg/ha de N por concepto de la fijación biológica, como los aportes son directamente proporcional a la producción de masa seca, se encontró una tendencia similar en la leguminosa al obtenido en este indicador.

En los rendimientos (Cuadro 7), se detectaron diferencias altamente significativas, la mayor densidad (66 mil pl/ha) utilizada para el maíz, provocó incrementos con relación a la menor (44 mil pl/ha) de 1.25 t/ha (25%), los valores más altos en la producción de granos secos fueron alcanzados con el asocio del maíz en la canavalia sembrado a la mayor y menor densidad respectivamente y esta última insertada al unísono. Se aprecia también que los diferentes asocio no deprimieron los rendimientos del maíz, por el contrario se lograron incrementos en casi todos.

Cuadro 1. Características del suelo.

Profundidad (cm)	pH		%	mg/100 g.s.	
	H2O	KCl		M.O	P205
1 - 20	7.0	5.9	2.88	16.12	39.47
Técnicas Analíticas	Potenciometría 1:2.5		Walkley Black	ONIANI	

Cuadro 2. Efecto de los diferentes asocio en la cobertura del suelo.

NO.	TRATAMIENTOS	Por ciento de cobertura del suelo (45 días)
2	Maíz (4.4 pl/m ²) + Canav. 0 dds (2.2 pl/m ²)	67.50a
3	Maíz (4.4 pl/m ²) + Canav. 30 dds (4.4 pl/m ²)	11.50 b
5	Maíz (6.6 pl/m ²) + Canav 0 dds (2.2 pl/m ²)	68.75a
6	Maíz (6.6 pl/m ²) + Canav 30 dds (4.4 pl/m ²)	15.00 b
	SIGNIFICANCIA	***
	ES x +	1.88

Cuadro 3. Producción de materia verde en el asocio.

TRATAMIENTOS	kg/ha		
	Maíz	Canavalia	Total
1. Maíz monocultivo (4.4 pl/m ²)	18187.5 b	--	18187.5 c
2. Maíz (4.4 pl/m ²) + Canav. 0 dds (2.2 pl/m ²)	19712.5 b	9087.5 a	28800.0 a
3. Maíz (4.4 pl/m ²) + Canav. 30 dds (4.4 pl/m ²)	20687.5 ab	4682.5	25370.0 ab
4. Maíz monocultivo (6.6 pl/m ²)	20075.0 b	--	20075.0 bc
5. Maíz (6.6 pl/m ²) + Canav. 0 dds (2.2 pl/m ²)	21287.5 ab	7237.5 ab	28525.0 a
6. Maíz (6.6 pl/m ²) + Canav 30 dds (4.4 pl/m ²)	26125.0 a	2850.0 c	28975.0 a
SIGNIFICANCIA	**	**	**
ES x +	1786.28	801.17	2027.82

a. b. c. Letras en común no difieren estadísticamente según d. c. de Duncan P/ 0.05

Cuadro 4. Producción de materia seca en el asocio.

TRATAMIENTOS	kg/ha		
	Maíz	Canavalia	Total
1. Maíz monocultivo (4.4 pl/m ²)	8293.50	--	8293.50 b
2. Maíz (4.4 pl/m ²) + Canav. 0 dds (2.2 pl/m ²)	9345.25	2156.75 a	11502.00 ab
3. Maíz (4.4 pl/m ²) + Canav 30 dds. (4.4 pl/m ²)	11468.00	1068.00 bc	12536.00 a
4. Maíz monocultivo (6.6 pl/m ²)	11245.50	--	11245.50 ab
5. Maíz (6.6 pl/m ²) + Canav. 0 dds (2.2 pl/m ²)	11305.20	1659.50 ab	12964.70 a
6. Maíz (6.6 pl/m ²) + Canav. 30 dds (4.4 pl/m ²)	11004.50	671.25 c	11675 ab
SIGNIFICANCIA	NSn	**	*
ES x +	1027.53	211.60	1041.59

a. b. c. Letras en común no difieren estadísticamente según de Duncan P/_0.05

Cuadro 5. Reciclaje de nitrógeno al suelo por el asocio.

TRATAMIENTO	kg/ha		
	Maíz	Canavalia	Total
1. Maíz monocultivo (4.4 pl/m ²)	75.17 bc	--	75.17 c
2. Maíz (4.4 pl/m ²) + Canav 0 dds (2.2 pl/m ²)	65.81 c	16.44 a	112.25 abc
3. Maíz (4.4 pl/m ²) + Canav. 30 dds (4.4 pl/m ²)	107.20 abc	21.98 b	129.18 ab
4. Maíz monocultivo (6.6 pl/m ²)	88.98 abc	--	88.98
5. Maíz (6.6 pl/m ²) + Canav. 0 dds (2.2 pl/m ²)	118.81 a	38.47 ab	157.28 a
6. Maíz 6.6 pl/m ²) + Canav. 30 dds (4.4 pl/m ²)	113.39 ab	16.66 b	130.65 ab
SIGNIFICANCIA	*	*	*
ES x +	12.89	6.76	14.93

a. b. c. Letras en común no difieren estadísticamente según dódima de Duncan P/_0.05

Cuadro 6. Reciclaje del fósforo al suelo por el asocio.

TRATAMIENTOS	kg/ha		
	Maíz	Canavalia	Total
1. Maíz monocultivo (4.4 pl/m ²)	16.31	--	16.31
2. Maíz (4.4 pl/m ²) + Canav 0 dds (2.2 pl/m ²)	10.87	8.19	19.06
3. Maíz (4.4 pl/m ²) + Canav 30 dds (4.4 pl/m ²)	18.57	3.75	22.32
4. Maíz monocultivo (6.6 pl/m ²)	23.72	--	23.72
5. Maíz (6.6 pl/m ²) + Canav 0 dds (2.2 pl/m ²)	21.27	5.43	26.70
6. Maíz (6.6 pl/m ²) + Canav 30 dds (4.4 pl/m ²)	20.36	2.18	22.54
SIGNIFICANCIA	NS	**	NS
ES x +	7.11	0.71	5.81

a. b. c. Letras en común no difieren estadísticamente según dódima de Duncan P/_0.05

Cuadro 7. Producción de grano seco del maíz en asocio.

TRATAMIENTOS	RENDIMIENTOS
	(15 % humedad) t/ha
1. Maíz monocultivo (4.4 pl/m ²)	4.997 b
2. Maíz (4.4 pl/m ²) + Canav 0 dds (2.2 pl/m ²)	4.853 b
3. Maíz (4.4 pl/m ²) + Canav. 30 dds (4.4 pl/m ²)	5.020 b
4. Maíz monocultivo (6.6 pl/m ²)	6.246 a
5. Maíz (6.6 pl/m ²) + Canav 0 dds (2.2 pl/m ²)	6.606 a
6. Maíz (6.6 pl/m ²) + Canav. 30 dds (4.4 pl/m ²)	6.434 a
SIGNIFICANCIA	**
ES x +	0.30

a. b. Letras en común no difieren estadísticamente según dódima de Duncan P/_0.05

Lo obtenido demuestra la factibilidad del intercalamiento de la canavalia con el maíz sin que se provoquen efectos antagónicos que unidos al reciclaje de materia seca, N y P al suelo hacen de esta práctica un elemento importante a considerar en la agricultura nacional actual.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten al agricultor cubano disponer de una alternativa realizable gradualmente a pequeña y mediana escala pues la introducción de una leguminosa como la canavalia en el sistema, alguno, permite disponer de un abono verde en un lapso breve, que unido a los restos de cosecha del maíz, posibilita hacer un eficiente reciclaje de masa seca y nutrientes al terreno, para su mejora.

REFERENCIAS

FAO. 1983 El reciclaje de materia orgánica en la Agricultura de América Latina. Boletín de suelos, No. 51 Roma 253 p.

Gordon R, N. de Gracia, J. Franco, A. González y J. Bolaños. 1993. Asocio de maíz con canavalia a distintas épocas y arreglos de siembra de Azuero, Panamá. Síntesis de resultados experimentales. CIMMYT-PRM. Guatemala p 102-105.

Nutman. P.S. 1976. Rhizobium in soil. En: H. Walker (ed.), Essays in soil microbiology, Butterworths Sci.Pub. p 11-131.

Porras, P., C.A. Alfonso, M. Riverol, E. Rodríguez, V. Díaz y J.L. Tejera. 1993. Influencia de los abonos verdes en el mejoramiento de la fertilidad de los suelos y la calidad del tabaco en la CPA "Eliseo Caamaño". En III Congreso cubano de la Ciencia del Suelo. Resúmenes. Diciembre 22-24, Cuba.

Zea J. L. 1992. Efecto residual de intercalar leguminosas sobre el rendimiento de maíz en nueve localidades de Centroamérica. CIMMYT PRM. Vol 3. p 97-104.

Evaluación de Variedades de Vignas y su Inserción en los Sistemas de Producción de Maíz

Virginia Marrero¹, José de Jesús Guzmán¹, Adilen Roque¹, Benito Faure¹ y Odile Rodríguez¹

RESUMEN

Con el objetivo de seleccionar variedades promisorias de vinya (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) que se adapten al intercalamiento con maíz se desarrollaron ensayos preliminares en la Estación Experimental de Granos El Tomeguín. Se inició con la evaluación de 80 variedades, teniendo en cuenta hábito de crecimiento, precocidad y rendimiento en grano, y fueron seleccionados 8 como las mejores productoras de materia seca y aportes de N y P. Para el asocio con maíz fueron tomadas 6, con diferentes hábitos de crecimiento y precocidad entre otras características. Los resultados obtenidos en comparación con el maíz en monocultivo, indicaron que la mayoría de las variedades no afectaron los rendimientos del maíz y en general se lograron incrementos en la producción total por unidad de superficie que oscilaron de 0.29 a 0.71 t/ha dependiendo de la variedad.

La vinya es una leguminosa comestible de alto contenido proteico con capacidad para fijar N, además de una buena opción como abono verde para la recuperación de los suelos de pobre fertilidad o agotados por el uso intensivo. Se cultiva en monocultivo o asociada con diferentes especies como sorgo, maíz, yuca, arroz, algodón y boniato entre otras. Actualmente pueden establecerse parámetros para el estudio de variedades de vinya en los diferentes sistemas de producción, según Pereira et al. (1984) en monocultivo y siembras extensivas, las variedades de hábito de crecimiento semi-ramificadas y erectas son las más adecuadas ya que permiten mayor tecnicidad del cultivo, y para sistema asociados principalmente en suelos de alta fertilidad natural, las variedades erectas son más adaptables, pues no poseen mucha agresividad por los nutrientes, agua y luz solar.

En Cuba desde hace pocos años se trabaja este cultivo en forma extensiva, no sólo como alternativa para la obtención de grano de primavera-verano, sino también en sistemas de rotación o intercalamiento para el uso de sus residuos de cosecha en el mejoramiento

de las condiciones del suelo, igualmente su empleo como abono verde en nuestras condiciones de suelo y clima ha logrado resultados positivos en cultivos posteriores como el caso de la calabaza según Treto et al. (1993) y García et al. (1994).

Motivado por lo antes expuesto y la necesidad de dar respuesta al Programa Regional de Maíz para Centroamérica y el Caribe (PRM), sobre la búsqueda de variedades de vinya que se adapten al intercalamiento con maíz es que se realiza este estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los trabajos se condujeron en la Estación Experimental de Granos El Tomeguín en un suelo ferralítico rojo (Oxisol) con alto contenido de P y K y bajo en materia orgánica (Cuadro 1), durante los años 1992-1994 con un promedio anual de precipitaciones de 1559.3 mm y rango de temperatura entre 19.6 y 29.5 °C, con un promedio anual de 24.3 °C.

Para la fase de selección de materiales genéticos se partió de 80 variedades de frijol vinya, del total fueron seleccionadas 12, las cuáles fueron sembradas en la época de primavera a un marco de plantación de 0.9 x 0.06 m para una densidad de 185 mil pl/ha evaluando hábito (HC), días a floración (DF), días a madurez fisiológica (DM), peso de 100 semillas (P de 100 S) y rendimiento del grano en kg/ha.

Posteriormente se escogieron las variedades de hábito de crecimiento V y VI como referencia para determinar la producción de biomasa y su contenido de N y P al momento de la floración. Una vez concluida la etapa de selección se llevó a cabo el estudio de intercalamiento con maíz (variedad P-7928), con los siguientes materiales de vinya: IT86D-792, IT86D-386, IT86D-472, IT86D-782, Cancarro y Viñales 114-A, seleccionadas por presentar diferentes hábitos de crecimiento, precocidad, etc. (además de disponer de suficiente semilla) y un tratamiento con maíz en monocultivo para un total de 7 tratamientos con tres réplicas, distribuidas en un diseño de bloques al azar. Las siembras maíz más vinya se realizaron al unísono. La densidad de población para ambos cultivos fue de

¹ Investigadores del I.I.H. Liliana Dimitrova, Carretera Bejucal-Quivicán. Km 33 ½, Quivicán, La Habana.

44 pl/ha, se establecieron parcelas de 18 y 13.5 m² de superficie neta para maíz y vinya respectivamente. Sólo la gramínea se fertilizó a una dosis de 150, 60 y 80 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente, el N se aplicó 1/3 en siembra y el resto a los 30 días después de la siembra (dds). Las variables evaluadas fueron para la vinya, rendimiento del grano, producción de materia seca (hoja + tallo) y peso de 100 semillas; y para el maíz, rendimiento en grano tierno y seco. Para todas las variables se aplicó el análisis de varianza y la prueba de Duncan al 5% de probabilidad, en los casos donde hubo respuesta significativa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características agronómicas estudiadas de la variedades seleccionadas se observan en el Cuadro 2, destacándose la IT86D-792 y la IT86D-472 como las más precoces, a su vez las dos primeras presentaron los más altos rendimientos en grano acompañadas de la Viñales 144-A, la IT86D-782 y la Cancarro con valores que oscilaron desde 2060 a 1018 kg/ha. Por su parte la evaluación con hábitos de crecimiento V y VI, (Cuadro 3) señalan a las 81D-1228-12, 81D-1228-14, Viñales 144-A, 835-899 y 84E-116 con producciones de materia seca superiores a las 5 t/ha aunque es de destacar que la mayoría de esta variedades presentaron

bajos rendimientos de grano, como se apreció en el Cuadro 2, aunque si aportan las mayores cantidades de nutrimentos, fundamentalmente de N (hasta 223 kg/ha) de ser incorporados como abono verde al suelo.

El Cuadro 4 muestra los resultados del intercalamiento vinya-maíz donde la producción de grano y materia seca de las vignas resultó altamente significativa, destacándose la Viñales 144-A con valores de 688 kg/ha y 1.27 t/ha, respectivamente, independientemente de este resultado, consideramos que todas las variedades estudiadas pueden ser una buena opción para el intercalamiento con maíz por su adaptación a este sistema de producción más aún los IT86D por sus características de ser más precoces en este caso los IT86D, presentaron buena adaptación. Con relación al maíz aunque sin diferencia significativa, la mayoría de las variantes en asocio, superaron al maíz en monocultivo al rendimiento, lo cual no coincide con lo planteado por Zea et al. (1990) y Choto et al. (1992), donde el asocio de maíz con canavalia redujo significativamente la producción del maíz. La diferencia entre estos resultados y los de este estudio en Cuba, pueden deberse a la fertilidad del suelo (Cuadro 1) y posibilidad de regadío. Por último, la producción total por unidad de superficie fue superior en los asociados con incrementos que oscilaron entre 0.29 y 0.71 t/ha con relación al monocultivo.

Cuadro 1: Características del suelo

Profundidad (cm)	H2O ph KCl	mg/100 g de S. P2O5 K2O	Cationes meq/100 g S. Na. K Ca Mg	% M. O.
0-20	7.16 6.46	52.23 26.45	0.23 0.64 12.21 0.83	2.51
Técnicas Analíticas	Potenciometría 1:2.5	ONIANI	MASLOVA	Walkey Black

Cuadro 2: Principales características de las variedades seleccionadas.

Variedades	HC	DF	DM	P 100 S. (g)	Rendimiento (14% h kg/ha)
Viñales 144-A	V	57	82	10.0	1261
81D-1228-12	VI	53	79	12.0	821
81D-1228-14	VI	55	82	13.8	714
Cancarro	V	43	79	12.6	1018
835-899	VI	46	82	15.8	330
84E-116	VI	49	79	14.2	464
Habana-82	V	49	82	10.5	956
86D-499	VI	53	82	11.0	223
IT-86D-792	I	37	74	16.0	1429
IT-86D-386	I	43	70	19.0	2060
IT-86D-472	IV	47	75	15.0	562
IT-86D-782	IV	47	82	15.0	1035

Cuadro 3: Materiales genéticos mayores productores de biomasa y sus aportes.

Variedades	Masa Verde (t/ha)	Materia seca (t/ha)	Aporte N (kg/ha)	Aporte P (kg/ha)
Viñales 144-A	41.85	5.18	200	19
81D-1228-12	47.41	5.95	223	27
Cancarro	30.06	3.72	109	18
835-899	46.25	5.15	195	19
84E-116	37.69	5.03	204	29
81D-1228-14	37.76	5.36	208	22
Habana 82	37.00	4.91	190	30
86D-499	32.14	4.04	155	18

Cuadro 4: Respuesta de la Vigna y Maíz en un sistema de cultivos asociados

Tratamientos	Rend. 14 % h (kg/ha)	Materia seca t/ha	Peso de 100 Semillas (g)	Grano tierno (t/ha)	Grano Seco (t/ha)	Rend. (maíz +vigna)	Incr. del rend. (t/ha)
Maíz monocultivo	--	--	--	11.17	3.72	3.72	--
M + IT 86D-792	488.13 b	0.96 b	18.33 a	11.41	3.80	4.29	0.57
M + IT 86D-386	462.02 b	0.91 b	14.50 c	11.55	3.84	4.30	0.58
M + IT 86D-472	141.38 b	0.90	13.33 bc	11.71	3.89	4.33	0.61
M + IT 86D-782	394.57	0.82 b	16.00 b	10.90	3.62	4.01	0.29
M + Cancarro	408.72 b	1.03 b	15.17 bc	11.94	3.86	4.27	0.55
M + Viñales 144-A	688.08 a	1.27 a	11.00 d	11.27	3.74	4.43	0.71
ES x +	51.02 **	0.07	0.39**	NS	NS	--	--
CV. %	26.01	18.01	6.32	7.49	7.73	--	--

CONCLUSIONES

1. Por su alta producción de materia seca de N y P los materiales de vigna de hábito de crecimiento V y VI son una buena opción como abono verde.
2. La variedad Viñales 144-A se destacó como la mejor productora de granos (688 kg/ha) y de materia seca (1.27 t/ha) en intercalamiento con maíz.
3. Todos los materiales de vigna seleccionados para la inserción con maíz incrementaron los rendimientos por unidad e superficie en relación con el monocultivo, en valores de 0.29 a 0.71 t/ha.
4. La asociación maíz-vigna es una buena opción para el uso intensivo de los suelos, aporte de alimento para consumo humano y empleo de los restos de cosecha en el mejoramiento de los suelos.

REFERENCIAS

Choto, C., T. Montenegro, G. Saín y E. Borbón 1991. Factibilidad económica de intercalar una leguminosa en el sistema maíz-frijol predominante en Opico-Quetzaltepeque, El Salvador. En PRM., Síntesis de resultados experimentales--Guatemala; CIMMYT-PRM, 1993--p. 157-1692.

García M., E. Treto M. Alvarez y L. Fernández. 1994. La Vigna unguiculata como abono verde procedente al cultivo de la calabaza en un suelo Ferralítico rojo. En II Jornada Científico-Técnica-Productiva sobre el cultivo de la vigna en Cuba. Instituto de Investigaciones hortícolas "Liliana Dimitrova".--p. 29.

Gordón, R., J. Franco N. de Gracia y A. González 1992 Evaluación de variedades y densidades de frijol Vigna unguiculata asociado con el cultivo de maíz en Azuero, Panamá: En Programa Regional de Maíz para Centroamérica y el Caribe.-- Guatemala CIMMYT-PRM, 1992--p. 115-123.

Pereira De A. J. P., Q.R Pereira, E.E. Watt, Pereira. Das N.B. Kumar, F.N., Pereira De O. I. Morais, G.C. y F. A. Silveira 1984 Cultura de Caupí, (Vigna unguiculata (L.) Walp): Descripción e recomendaciones técnicas de cultivo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Circular técnica, (18): 80.

Treto, E., M. García y M. Alvarez 1994. Estudio de varios tipos de abonos verdes como precedentes de la papa y la calabaza en un suelo Ferralítico rojo Cultivos Tropicales, 15 (3) 39, 1994.

Zea, J. L. W. Raun y H. J. Barreto 1990. Efectos de intercalar leguminosa a diferentes fechas de siembra y dosis de fósforo sobre el rendimiento del maíz (Zea mays L.) en Centroamérica. En: Recopilación de trabajos presentados durante el II Taller Latinoamericano de manejo de suelos tropicales, Julio 9-13-- San José--p. 43-60.

Evaluación de Variedades de Vigna (*Vigna unguiculata*) Para Asocio con el Cultivo de Maíz en Azuero, Panamá

Román Gordón¹, Jorge Franco², Andrés González² y Nivaldo de Gracia³

RESUMEN

Se realizó un ensayo para evaluar el asocio de maíz con variedades de vigna en la Finca Experimental de El Ejido, en Azuero, Panamá. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. El análisis de varianza a los datos del rendimiento del maíz y algunos de los componentes del rendimiento, mostraron que no hubo diferencias significativas entre los distintos tratamientos evaluados. El análisis de varianza del rendimiento de vigna indico que hubo diferencias altamente significativas entre los distintos cultivares evaluados. El grupo de cultivares que sobresalieron esta conformado por el IT-82E-32, Pronto Alivio, CN-85A-3-2, TVX-3629 y el IT-82D-889 con rendimientos de 143.7, 130.4, 111.1, 105.2 y 103.7 kg/ha, respectivamente.

El asocio del cultivo de maíz con otras especies cultivables por el hombre ha sido muy variable. Durante muchos años los agricultores han utilizado las leguminosas asociadas al maíz. En Centro América es frecuente ver el asocio entre este cultivo y el frijol común (*Phaseolus* spp), principalmente en áreas donde la poca disponibilidad de tierra y la escasa precipitación pluvial, obligan al uso intensivo de la tierra. Otro de los socios lo constituye el de maíz con el frijol vigna, el cual es una leguminosa que aporta muchas proteínas a la dieta del panameño. Estudios realizados por Zea et al., (1990) informan que el frijol vigna y la *Canavalia ensiformis* constituyeron en uno de los socios con las mejores posibilidades para aspectos como control de malezas y cobertura del suelo, para una mayor protección contra la erosión y especialmente la vigna por su aptitud para consumo humano, ciclo corto, tolerancia a la sombra y su habito no trepador.

Los primeros intentos en Panamá de este asocio los informa González et al. (1989a y 1989b). En ellos uno de los problemas que se puede confrontar es el de variedades no adaptadas para este sistema. Ejemplo de

este problema fue la variedad RH-209, la cual se comporta muy bien en monocultivo, pero en asocio no tolera la sombra del maíz. Otro de los problemas que se puede confrontar es la excesiva población de siembra, la cual afectará los rendimientos del maíz.

Gordón et al. (1992) encontraron en 1990 que el cultivar de vigna de mayor rendimiento para el asocio con maíz fue La Martina. Mientras que en 1991 y 1992 los mismos estudios identificaron a la variedad IT-82D-889. En relación al rendimiento del maíz en estas parcelas, se observó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, sobresaliendo en los tres años (1990-1992), los tratamientos con el cultivar IT-82D-1069 y IT-82D-889 como los que menos redujeron los rendimientos del maíz. El objetivo de este ensayo fue el de identificar otros cultivares de vigna (del programa de frijol de IDIAP) que se adapten al asocio con maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo en la Finca Experimental de El Ejido, en Azuero, Panamá, a 30 msnm, (7°55' N, 80°53' W). El ensayo se sembró a fines de septiembre de 1994 y fue cosechado a fines de enero de 1995. Se usó la variedad Guararé 8128 de maíz. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las parcelas contaron con 4 surcos de 5.5 m de largo, separados 0.75 m entre hileras; con una distancia entre golpes de 0.5 m, y dos plantas por golpe. La vigna se sembró en medio de los surcos de maíz, separadas a 0.3 m entre golpes, dejando dos plantas por golpe. En total se evaluaron 19 cultivares de vigna más una parcela de maíz en monocultivo. Los cultivares de vigna evaluados se observan en el Cuadro 1. La fertilización para el maíz fue de 227 kg de abono completo 15-30-8/ha y 227 kg de urea/ha. El control de las malezas se realizó manualmente. Tanto las semillas de maíz como de vigna se trataron con el insecticida furatiocarb a razón de 8 gr i.a./kg de semilla. No se realizó ninguna aplicación adicional de insecticidas durante el desarrollo del cultivo. Se tomaron datos del rendimiento de grano, porcentaje de humedad de ambos granos (maíz y vigna), al momento de la cosecha, número de plantas y mazorcas cosechadas. La precipitación acumulada se observa en el Cuadro 2.

¹ Ing. Agrónomo, M.Sc., ² Agrónomo, ³ Ing. Agrónomo, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro Regional Agropecuario de Azuero.

Cuadro 1. Nombre de los cultivares de vinya evaluados en el ensayo de asocio con maíz, El Ejido 1994-95.

	Cultivar	Color del grano
1	CNC-X-0434	Crema
2	CN-85A-1-5	Crema
3	CN-85A-2-1	Rojo
4	CN-85A-3-2	Blanco
5	CN-85A-3-4	Crema
6	CN-85A-4-2	Crema
7	IT-82D	Marrón
8	IT-82D-699	Blanco
9	IT-82D-885	Rojo
10	IT-82D-889	Rojo
11	IT-82D-1069	Rojo
12	IT-82E-32	Rojo
13	TV-4-1404	Rojo
14	TV-4-1460-2	Rojo
15	TV-4-1632	Rojo
16	TV-4-1637	Crema
17	TVX-3629	Rojo
18	39-2E	Crema
19	Pronto Alivio	Crema

Cuadro 2. Precipitación (mm) en el campo Experimental de El Ejido desde agosto hasta diciembre de 1994.

Mes	Días		
	1-10	11-20	21-30/31
Sep	0.0	23.5	121.0
Oct	79.0	150.0	62.0
Nov	184.0	74.0	33.0
Dic	8.5	0.0	0.0

Cuadro 3. Rendimiento de maíz (t/ha), vinya (kg/ha) y algunos componentes del cultivo de maíz en el ensayo de asocio de maíz y frijol, El Ejido 1994-95.

Cultivar	Rend Frijol	Rend Maíz	Ptm ²	Mzm ²	PMz	Mz/pt	Inc
IT-82E-32	143.7	3.94	5.43	4.89	80.9	0.90	32.7
Pronto Alivio	130.4	3.43	5.24	4.49	76.5	0.86	31.0
CN-85A-3-2	111.1	3.15	4.94	4.25	74.4	0.86	30.1
TVX-3629	105.21	3.28	5.33	4.94	66.4	0.93	29.5
IT-82D-889	103.7	4.47	5.23	5.14	86.1	0.98	35.6
CN-85A-4-2	94.8	3.73	5.38	4.69	79.3	0.87	31.4
CN-85A-1-5	87.4	3.47	5.48	4.69	74.6	0.86	30.2
IT-82D-885	63.7	3.90	5.33	4.94	79.1	0.93	33.4
TV-4-1404	57.8	3.62	5.23	4.54	78.2	0.86	30.3
CNC-X-0434	56.3	4.09	5.38	5.04	81.6	0.93	33.2
TV-4-1632	48.9	3.37	5.23	4.69	71.8	0.90	29.8
CN-85A-2-1	41.5	3.59	5.48	4.89	73.3	0.89	31.5
TV-4-1637	35.6	3.59	5.33	5.04	71.3	0.94	32.1
CN-85A-3-4	32.6	3.42	5.33	4.44	77.1	0.83	30.4
TV-4-1460-2	31.9	3.91	5.24	4.79	82.2	0.91	32.3
IT-82D	26.7	3.55	5.48	5.18	69.2	0.94	29.7
IT-82D-699	23.7	3.82	5.33	4.84	78.8	0.91	33.2
IT-82D-1069	22.2	4.38	5.24	4.69	92.5	0.90	35.0
39-2E	19.3	4.34	5.28	5.04	86.1	0.95	34.8
Monocultivo		3.31	5.13	4.54	73.1	0.88	30.6

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos del maíz y vinya se observan en el Cuadro 3. El exceso de lluvia a fines de septiembre e inicios de octubre afectaron mucho a los rendimientos de las vignas. En cambio los rendimientos del cultivo de maíz no fueron afectados.

El análisis de varianza del rendimiento del maíz y algunos de sus componentes de rendimiento, mostraron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Cuadro 4), aunque el menor rendimiento se obtuvo en el asocio con el cultivar CN-85A-3-2 con 3.14 t/ha. Por el contrario, el mayor rendimiento se obtuvo en el asocio con el cultivar IT-82D-889, con un rendimiento de 4.47 t/ha. Este mismo cultivar ha sido reportado en otros trabajos realizados por Gordón et al. (1992) como el cultivar que menos reduce los rendimientos del maíz. Cabe señalar que ninguno de los cultivares evaluados difirió de la parcela testigo o parcela de maíz en monocultivo, lo que, indica que no existe competencia entre ambas especies.

El análisis de varianza del rendimiento de las vignas indico que hubo diferencias altamente significativas entre los distintos cultivares evaluados. El grupo de cultivares que sobresalieron esta conformado por el IT-82E-32, Pronto Alivio, CN-85A-3-2, TVX-3629 y el IT-82D-889 con rendimientos de 143.7 130.4, 111.1, 105.2 y 103.7 kg/ha, respectivamente.

Cuadro 4. Análisis de varianza de las principales variables tomadas en el ensayo de maíz asociado al cultivo de vigna, El Ejido, 1994-95.

F de V	g.l.	Cuadrados Medios					
		Rend G	Rend F	Ptm ²	Mzm ²	Pmz	Inc
Rep	2	0.190	1051	0.151	0.589	50.64	14.49
Trat	19	0.436	5079	0.050	0.187	118.23	10.54
Error	38	0.374	877**	0.054	0.213	107.63	9.76
C.V.		16.46	47.92	4.38	9.65	13.36	9.82

** , se refiere a diferencias significativas al 0.1% de probabilidad.

De todas estos materiales el Pronto Alivio es un cultivar utilizado comúnmente por los productores de Azuero, por lo que puede ser considerado criollo, el resto de los cultivares fueron importados principalmente del IITA, Nigeria. Por su parte los rendimientos mas bajos se obtuvieron con los cultivares 39-2E, IT-82D-1069 e IT-82D-669 con menos de 25 kg/ha, respectivamente.

Estos resultados demuestran que existen cultivares en el banco de semilla del IDIAP, que se adaptan al asocio con el maíz, principalmente los materiales mas precoces. Lo que puede afectar la aceptación de estas variedades de vigna por parte de los productores es el tipo de grano, en especial su color, tamaño y características culinarias.

CONCLUSIONES

1. El exceso de las lluvias al inicio del experimento afecto en gran medida los rendimientos de las vignas pero no así los del maíz.
2. Los cultivares de vigna de mejor rendimiento fueron IT-82E-32, Pronto Alivio, CN-85A-3-2, TVX-3629 y el IT-82D-889 con rendimientos de 143.7 130.4, 111.1, 105.2 y 103.7 kg/ha, respectivamente.
3. El asocio con vigna no afecta los rendimientos del maíz.

REFERENCIAS

- González, A.,E.Vargas, R.Gordón y N. DeGracia. 1989a. Evaluación de leguminosas intercaladas en el cultivo de maíz. En: Trabajos presentados de los Proyectos Colaborativos en Agronomía, Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma en maíz (*Zea mays* L.) pag. 214-218.
- González, A., E.Vargas y R.Gordón. 1989b. Asociación de maíz con leguminosas forrajeras bajo el sistema de Labranza de Conservación. En: Trabajos presentados de los Proyectos Colaborativos en Agronomía, Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma en maíz (*Zea mays* L.) pag. 271-272.
- Gordón, R., J.Franco, N.DeGracia y A.González. 1990. Evaluación de variedades y densidades de frijol (*Vigna unguiculata*) asociado con el cultivo de maíz en Azuero, Panamá, 1990. En: Análisis de los Ensayos Regionales de Agronomía, 1990. (Compilación de trabajos en extenso del Proyecto Regional de Agronomía) pag.129-137.
- Gordón, R., J.Franco, N.DeGracia y A.González. 1992. Evaluación de variedades de frijol (*Vigna unguiculata*) asociado con el cultivo de maíz en Azuero, Panamá, 1992. En: Síntesis de los Resultados Experimentales del Programa de Maíz, IDIAP-PRM. pag.80-85.
- Zea, J.L., W.R.Raun y H.J.Barreto. 1990 Efectos de intercalar leguminosas a diferentes fechas de siembra y dosis de fósforo sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) Centro América, 1990. En: Compilación de trabajos presentados durante el II Taller Latinoamericano de manejo de suelos tropicales. San José, Costa Rica. pag 43-60.

Síntesis de la Investigación en Labranza de Conservación con Énfasis en Luperón, República Dominicana

Rodolfo Pierre¹

RESUMEN

Este trabajo presenta una síntesis de los resultados de investigación en labranza de conservación en campos de agricultores del área de Luperón y San Cristóbal (CESDA), República Dominicana. La zona de Luperón está caracterizada por suelos en laderas con alto potencial de erosión, un sistema de producción basado en maíz y el pastoreo de los rastrojos por animales en la época seca. En este contexto, el Programa Regional de Maíz (PRM) ha impulsado la labranza de conservación, entendiéndose esta como un sistema que cubre más del 30% de la superficie del suelo con los residuos de los cultivos anteriores. Parcelas mantenidas por 3 ciclos con mantillo superficial sin disturbar el suelo mostraron un incremento del rendimiento de maíz de 3.34 a 5.19 t/ha, acompañados por una mayor producción de biomasa (de 11.5 a 18.0 t/ha), una disminución del número de plantas sin mazorcas (de 21 al 4%) y una sustancial mejoría en la eficiencia de uso del N aplicado (de 41 a 98 kg de N/ha para producir una tonelada de grano). Asimismo se detectó una significativa disminución en acame (21 vs 3%) y daños por *Spodoptera* spp. (de 59 a 42%). Este trabajo reporta también una respuesta diferencial a dosis de N, P y S en función de los sistemas de labranza. Los resultados apoyan a la labranza de conservación como un instrumento utilizable para reducir la erosión, incrementar el rendimiento, disminuir el acame y las pérdidas por cogollero en las áreas de laderas de Luperón.

La labranza de conservación es un instrumento de manejo utilizable en las áreas de laderas donde se establecen cultivos como el maíz; para reducir las pérdidas de suelo por erosión. Los cambios inducidos por la labranza de conservación están bien documentados en las zonas templadas, como Estados Unidos, Brasil y otros países (Bandel et al., 1975; Barreto, 1989). Muchos trabajos establecidos a largo plazo han permitido describir los cambios inducidos y una mejor comprensión y definición del concepto propuesto de labranza.

Al no disturbarse el suelo, la dinámica de los nutrientes disponibles se altera, observándose síntomas visuales de deficiencias más marcados, como por ejemplo, deficiencias de N. Muchos reportes evidencian una menor eficiencia de utilización de los fertilizantes aplicados bajo labranza de conservación; necesiéndose en los primeros ciclos aportar cantidades mayores de nutrientes si se quieren disminuir los efectos mencionados (Barreto, 1989; Sosa y Bolaños, 1993).

El presente trabajo intenta contribuir a la comprensión de los fenómenos que suceden bajo la labranza de conservación. La implementación de un sistema distinto de labranza implica cambios sustanciales en los componentes que intervienen en la producción.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

Luperón está ubicado en la llanura costera del Atlántico de la República Dominicana, y es cabecera del municipio de la provincia de Puerto Plata; localizada en los 19°54' latitud norte y 70°52' longitud oeste. La precipitación anual varía entre 1000-1400 mm con una temperatura media de 24 a 26 °C (Figura 1). Los suelos ocurren sobre depósitos lacustres y marinos compuestos por rocas calizas y sedimentos aluviales. Las áreas planas tienen suelos de color pardo-oscuro, generalmente molisoles de pobre drenaje, arcillosos, neutros, con alta saturación de bases y lenta permeabilidad. Las áreas colindadas tienen suelos pardo-claro pocos profundos y pendientes de 8 a más de 30%, bien drenados, neutros, con alta saturación de bases y gran susceptibilidad a la erosión.

El cultivo de maíz en temporal (siembra en oct-nov) tiene larga tradición, una gran parte en zonas de laderas. Los residuos de cosecha son utilizados principalmente para la alimentación del ganado, con mayor intensidad en los años de sequía (tiempo en el cual la leche alcanza sus mayores precios; haciendo atractiva incluso la venta del rastrojo), quedando así desprotegida la superficie del suelo. La recolección y quema de los pocos residuos y malezas antes de la preparación del terreno aumenta las posibilidades de erosión. La práctica local de producción de maíz es bastante uniforme y el rendimiento promedio no excede las 2.0 t/ha (Pierre et al., 1997).

¹Investigador DIA-CESDA, República Dominicana.

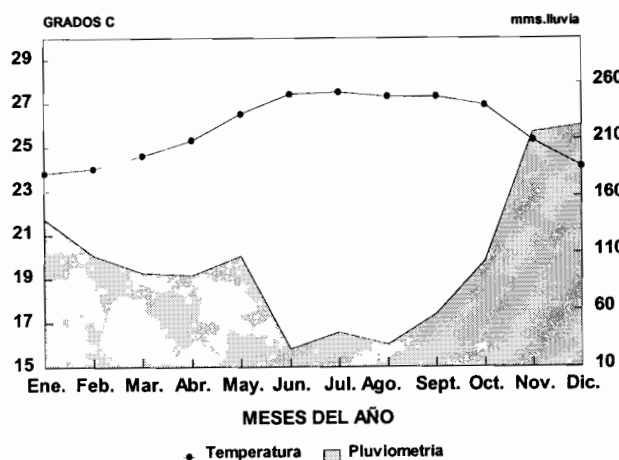


Figura 1. Temperatura y pluviosidad media de Luperón, República Dominicana.

Un diagnóstico agronómico realizado al inicio del proyecto con monitoreos constantes permitió identificar los factores que limitan la productividad y sostenibilidad del sistema: a) dramáticas pérdidas de suelo por erosión; b) quema de los residuos y preparación del suelo en las laderas; c) baja población de plantas por unidad de superficie (3.5-4.0 pl/m²); d) distribución espacial con 3 a 5 plantas por postura (con parcelas con 60% de las plantas sin mazorca); y e) baja utilización de insumos químicos (Pierre et al., 1997).

ENSAYOS ESTABLECIDOS

Al inicio del proyecto se establecieron ensayos multifactoriales permanentes: multifactoriales por la diversidad de preguntas que se pretendían responder; y permanentes por atender las experiencias en otras zonas que plantean la necesidad de realizar evaluaciones de varios ciclos si se pretende entender los cambios inducidos con la introducción de un sistema de labranza.

Se establecieron sistemas de rotación maíz-frijol-maíz bajo labranza de conservación y labranza convencional en ensayos formales en tres ciclos sucesivos en la estación CESDA, San Cristóbal en un suelo Fluventic Haplustol, Franco Gruesa mixta Isohipertérmico.

El Cuadro 1 presenta los resultados de la primera rotación. El rendimiento con labranza convencional consistentemente superó al rendimiento reportado bajo labranza de conservación a través de los diversos ciclos. Sin embargo, se observó un incremento del rendimiento del 1er al 3er ciclo; que podría explicarse debido a una mayor producción de biomasa, una sustancial mejoría en la eficiencia de utilización del N aplicado (cantidad de N necesaria para producir 1 ton de grano) y la reducción observada en el número de plantas sin mazorcas.

Bajo el sistema de labranza de conservación las causas señaladas como determinantes del incremento del rendimiento se manifestaron con mayor intensidad: de 98 kg de N necesarios para producir 1 ton de grano en el 1er ciclo, para el 3ro se necesitaron solo 41 kg de N (Cuadro 1), lo que sugiere que al transcurrir el tiempo se observa una mejoría en la eficiencia de utilización de N. Esto también es evidente con un menor número de plantas sin mazorcas del 21 al 4% (Figura 2).

En el segundo ciclo donde se estableció frijol (superpuesto en las parcelas del 1er ciclo para estudiar el efecto residual) no se observaron diferencias significativas entre los sistemas de labranza comparados; no encontrándose respuesta a las aplicaciones de nutrimentos del 1er ciclo (80 y 120 kg N/ha y 40 y 80 kg P/ha, respectivamente). Resulta interesante la correlación encontrada entre el rendimiento y el número de plantas sin mazorcas ($r=-0.67^{**}$), lo que a su vez está correlacionado con el abastecimiento de nitrógeno ($r=-0.67$) (Figura 3). Un inadecuado abastecimiento de N y/o una baja eficiencia de su uso determina un mayor número de plantas sin mazorcas y bajos rendimientos.

Cuadro 1. Algunos componentes del rendimiento de una rotación maíz-frijol-maíz, en dos sistemas de labranza.

Ciclos	Rendimiento t/ha			Biomasa t/ha			% Plantas sin Mazorcas			Eficiencia kg N/ton grano		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
Lcv.	4.32	1.14	6.10	14.4	--	20.4	13	--	4	58	--	55.5
Lcs.	3.34	1.07	5.19	11.5	--	18.0	21	--	4	98	--	41.4
	*	ns	**									

Lcv.= Labranza Convencional; Lcs.= Labranza de Conservación; 1er Ciclo Maíz, 2do Ciclo Frijol, 3er Ciclo Maíz
 *,**, P<0.05, P<0.01, respectivamente, ns, no significativo a probabilidad <0.1.

Relación entre Nutrientes y Sistema de Labranza

En otras regiones se han documentado numerosos cambios inducidos con la labranza de conservación (Barreto, 1989). A continuación se presentan algunos de los cambios observados en el comportamiento de los nutrientes en función del sistema de labranza empleado. La Figura 4 confirma las observaciones anteriores que sugieren mayores tasas de inmovilización del nitrógeno bajo la labranza de conservación (Mengel, 1985), así como una mayor lixiviación de nitratos (Bandel et al., 1975).

Síntomas más dramáticos de deficiencia de N consistentemente se observan, en las plantas de maíz desarrolladas en un suelo sin arar, cuando se comparan con plantas bajo el sistema convencional de labranza en el mismo suelo. En general en suelos no disturbados (*Lcs*) y con mantillo en la superficie, se presentan mayores requerimientos de N (Sosa y Bolaños, 1993). El análisis económico indica, sin embargo, que la *Lcs* es más rentable; esto sin tomar en cuenta el valor del suelo que se conserva al disminuir la erosión, lo que en regiones como Luperón tiene una importancia de primer orden.

La respuesta a la fertilización con P ha dependido del método de labranza, mayores dosis de P se han necesitado para lograr iguales rendimientos que los obtenidos bajo labranza convencional. Pierre et al. (1989) reportaron un aumento significativo del rendimiento con aplicaciones de P sólo en el marco de una fertilización de N adecuada y/o relativamente alta (Figura 5).

Bajo el sistema de labranza convencional se observó una respuesta significativa en el rendimiento a las aplicaciones de S, la cual posiblemente se debe a las pérdidas por volatilización del S, cuando los residuos vegetales se queman, alternativamente las respuestas a la aplicación de S se esperaba que fuese limitada bajo la labranza de conservación, debido a que las reservas de S orgánico mineralizable se consideran mayores bajo este sistema de labranza (Figura 6). Sánchez (1976) demostró que con la quema de residuos se podría volatilizar hasta el 75% del S orgánico presente en los residuos. La respuesta a la fertilización con S y P fueron independientes y significativas para cada elemento. La aplicación conjunta de S y P resultó en un incremento del rendimiento de tipo sinérgico no antagónico como se ha reportado en otras regiones (Barrow, 1969) (Figura 6).

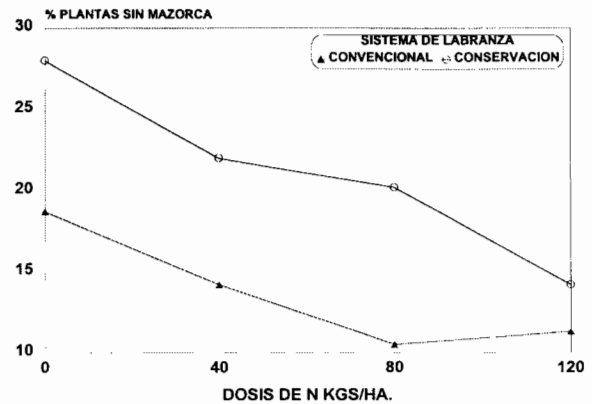


Figura 2. Relación entre el sistema de labranza, nitrógeno y número de plantas sin mazorcas.

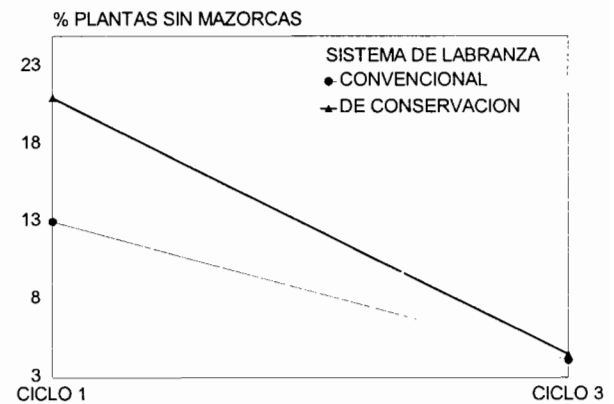
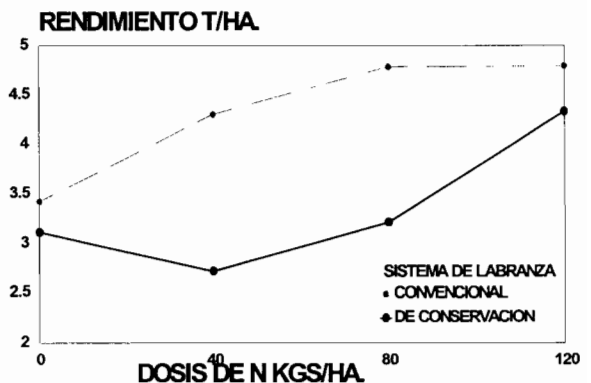


Figura 3. Disminución en el porcentaje de plantas sin mazorca en función del sistema de labranza y el tiempo.



TUKEY 5% = 1.29 1ER CICLO

Figura 4. Patrón de respuesta a N en función del sistema de labranza.

Acame en Función del Sistema de Labranza

El acame en maíz ocurre con frecuencia, dado el carácter insular de República Dominicana, con marcados períodos lluviosos y fuertes ráfagas de viento. Estudios realizados en Luperón así como en San Cristóbal, demuestran consistentemente que bajo el sistema de labranza de conservación el número de plantas acamadas es significativamente inferior que bajo la labranza convencional. En Luperón se observó una correlación positiva entre el rendimiento y el acame de raíz, lo que sugiere que el peso de la mazorca fuera el factor causal en la mayor incidencia de acame.

Labranza Convencional		Labranza Cero	
$Y=2.09+0.036*AR$	$r=0.59^{**}$	$Y=2.51+0.034*AR$	$r=0.35^{**}$
$Y=3.77-0.026*AT$	$r=-0.37^{**}$	$Y=2.57-0.021*AT$	$r=-0.20^{ns}$

AR,AT- acame de raíz y tallo en porcentaje, respectivamente.,
 ** P<0.01, ns, no significativo a P<0.10.

Sistema de Labranza e Incidencia de Spodoptera spp.

El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) constituye uno de los principales problemas entomológicos del cultivo del maíz en la República Dominicana. Consistentemente y en diferentes localidades (Luperón, San Juan, San Cristóbal) se ha constatado una incidencia diferencial y significativa del gusano cogollero en función del sistema de labranza utilizado. Ejemplo, 59.4% de plantas fueron atacadas en la labranza convencional versus 41.7% bajo el sistema de labranza de conservación. Distintos cultivares de maíz presentaron niveles diferentes de tolerancia (Figuras 8 y 9). Una disminución de la probabilidad de ataque del cogollero podría alcanzarse con el sistema de *Lcs*.

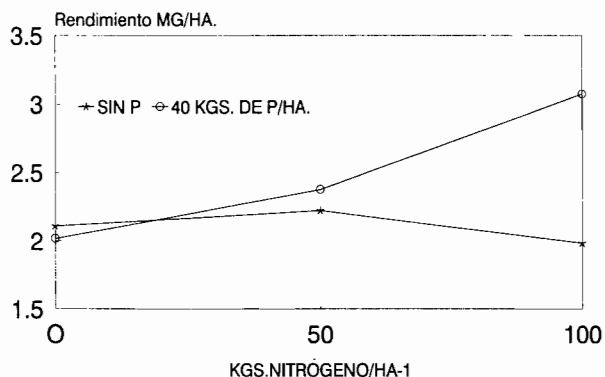


Figura 5. Relación Fósforo/Nitrógeno en función del sistema de labranza.

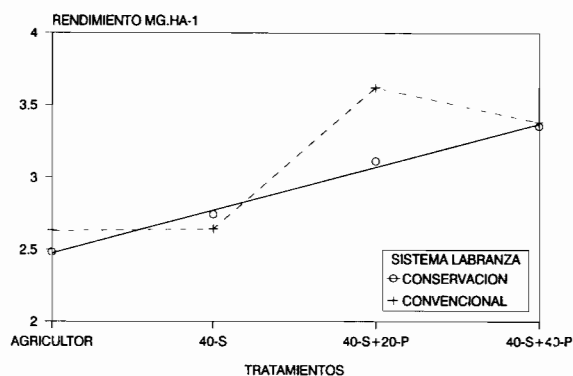


Figura 6. Relación Fósforo/Azulfre en función del sistema de labranza.

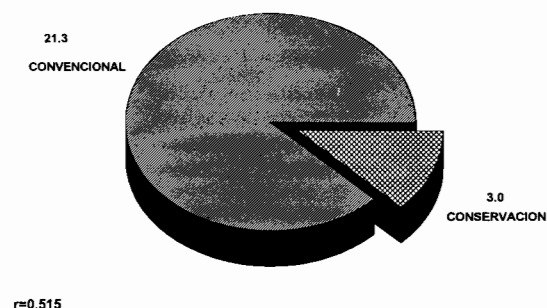


Figura 7. Incidencia de acame en función del sistema de labranza.

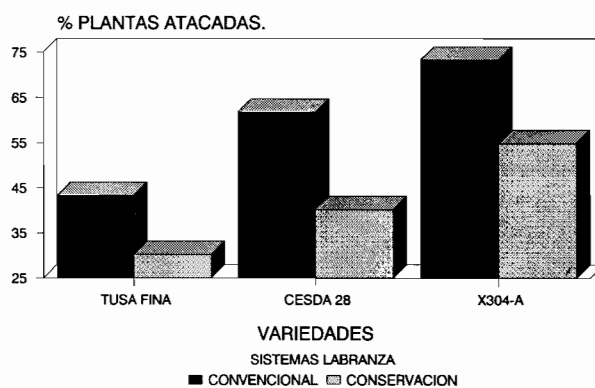


Figura 8. Ataque de cogollero en función del sistema de labranza y variedad.

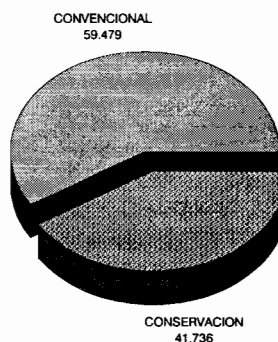


Figura 9. Ataque de cogollero en función del sistema de labranza.

REFERENCIAS

- Barreto, H. J. 1988. Cambios en Propiedades Químicas, Patrones de Fertilización y Encalamiento en Suelos Bajo Labranza Cero. Conf. CIMMYT/RPOCIANDINO, El Batán, México.
- Bandel, V.A., S. Dzienia, G. Stanford, y J.O. Legg. 1975. N. bahavior under no-till vs conventional corn culture. First year results using unlabeled N fertilizer. *Agron. J.* 67:782-786.
- Barrow, N.J. 1969. Effects of adsorption of sulfate by soils on the amount of sulfate presents and its avaiability to plans. *Soil Sci.* 108:193-201.
- Mengel, D.b. 1985. Curbing N loss in reduced till. *Solutions.* 29(2):60-64.
- Pierre, R., A. Robles, R. Celado, W.r. Raun y H.J. Barreto. 1990. Maize yield response to Sulphur and phosphorus applied under different tillage systems in the Dominican Republic. *Sulphur in Agriculture* 14:16-19.
- Pierre, R., A. Robles, R. Celado, y H.J. Barreto. 1989. Respuesta del maíz a la aplicación de azufre y fósforo en un suelo calcareo de ladera bajo labranza convencional y labranza cero. *Proyectos Colaborativos en Agronomía. Programa Regional de CIMMYT para el área de Centroamérica y el Caribe.*
- Pierre, R., J. Torres y F. Kocher. 1987. Comportamiento de tres cultivares de maíz en dos sistemas de labranza con diferentes niveles de fertilización nitrogenada y fosforada; San Cristóbal. *CESDA, San Cristóbal.*
- Pierre, R., P. Rodriguez y J. Bolaños. 1997. Dinamica y variabilidad de los componentes de rendimiento en 21 campos de maíz en Luperón, República Dominicana. Pp. 274-278 en J. Bolaños (Ed), *Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1993-1995, Vol. 5, PRM-Guatemala.*
- Sánchez, P.A. 1976. *Properties and management of soils in the tropics.* P 281. John Wiley & Sons, Inc. New York, N.Y.
- Sosa, H., y J.Bolaños. 1993. Respuesta diferencial del maíz a la labranza de conservación a distintas dosis de N. pp 119-123 en J. Bolaños et al. (Eds), *Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.*

El Uso de Rastrojo de Maíz como Mantillo Superficial y sus Implicaciones en la Economía del Nitrógeno

José Luis Zea y Jorge Bolaños¹

RESUMEN

Una gran proporción del maíz se siembra en condiciones de ladera en Centro América. El PRM ha venido impulsado la utilización de los residuos de cosechas anteriores (especialmente maíz y/o sorgo) como mantillo superficial. Este trabajo reporta sobre 12 ensayos regionales evaluando distintos niveles de mantillo (0, 2.5, 5 y 10 t/ha) en diseño factorial con N (0, 75 y 150 kg/ha), algunos ensayos con dos o tres años en el mismo sitio. Los resultados muestran una interacción negativa sobre el rendimiento entre mantillo y N. A dosis bajas de N, el mantillo tiene un efecto negativo sobre el rendimiento, pero a dosis altas de N, este es ligeramente positivo. Esto se debe posiblemente a la inmovilización del N aplicado por las altas cantidades de mantillo. La respuesta a N es positiva en todas las localidades, siendo este factor más explicativo en el análisis de varianza. A cualquier dosis de mantillo, el rendimiento aumenta de 0 a 75 kg N/ha, pero no se obtiene respuesta adicional de 75 a 150 kg N/ha. Asimismo, se encontró una relación fuerte y negativa entre pudrición de mazorca y niveles de N. Los resultados sugieren que se debe considerar fuertemente la economía de N del cultivo antes de recomendar adopción de la labranza de conservación.

Cerca del 60% del maíz se siembra en condiciones de ladera en la región de Centro América, típicamente con tecnologías que rápidamente degradan y erosionan los suelos (Sosa et al., 1993). En este contexto, el Programa Regional de Maíz (PRM) viene impulsando desde 1989 tecnologías que favorezcan la producción sostenida de maíz por pequeños y medianos productores en áreas marginales. En la zona de Guaymango, El Salvador, (Calderón et al., 1991), se realizaron varios ensayos para evaluar el efecto del uso de distintos niveles de rastrojo de maíz/sorgo como mantillo superficial sobre el rendimiento de maíz (Sosa, 1992; Sosa y Bolaños, 1993).

Violic (1989) manifiesta que existen suficientes tecnologías que ya no justifican la labranza, o preparación mecánica del suelo. Las malezas se pueden

controlar con la aplicación de herbicidas, los residuos del cultivo se pueden usar como mantillo superficial para reducir la erosión y mantener la humedad del suelo. Asimismo, es de sobra conocido que la labranza intensiva deteriora la estructura del suelo, compactando el suelo, etc. Violic (1989) añade que en 1940 surge la labranza cero con el descubrimiento del 2-4 D y otros herbicidas hormonales, a los cuales se suman en 1950-60 las triazinas (residuales) y más recientemente los disecantes foliares como el paraquat.

Según la Sociedad de Conservación del Suelo de América (1976), labranza de conservación es cualquier sistema que reduce la pérdida de suelo o agua, en comparación con la labranza convencional. Algunos autores consideran que para que realmente sea labranza de conservación debe dejarse por lo menos un 30% de la superficie del suelo cubierta con mantillo. Johnson (1988), por ejemplo, indica que dejando un 20-30% de mantillo a la siembra, la erosión se reduce entre 50 y 90% comparado con un suelo sin protección, aunque menciona que otras variables también participan. Sin embargo, la aplicación de niveles de mantillo al suelo puede alterar profundamente procesos y propiedades físicas y químicas en el suelo (Bolaños, 1989; Barreto, 1989), debido a cambios que se producen al modificar el sistema de laboreo del suelo. Los cambios más importantes tienen que ver, en este caso, con la mineralización e inmovilización del N motivado por la acumulación de la materia orgánica en los estratos superficiales del suelo, bajo labranza cero, cambios ya documentados y que en general indican que la inmovilización de N bajo labranza cero es mayor que bajo condiciones de labranza (Barreto, 1989). En muchos casos, más de la mitad del N aplicado se inmoviliza en labranza cero en comparación con la labranza convencional (Barreto, 1989).

Es necesario resaltar la importancia de la relación C:N del rastrojo para entender el balance entre mineralización e inmovilización del N de los residuos vegetales y la disponibilidad de este elemento bajo sistemas de labranza cero (Barreto, 1989). La relación C:N de los rastrojos de maíz-maicillo oscila entre 60-80, en comparación con los residuos de leguminosas, que tienen C:N entre 15-20. Cuando los residuos tienen C:N altos (bajo contenido de N), la descomposición de estos requiere de una demanda fuerte de N, lo que puede

¹ Técnico del Programa de Maíz, ICTA, Guatemala, y Agrónomo Regional de Maíz para Centro América y el Caribe, CIMMYT, Guatemala, respectivamente.

causar una inmovilización del N disponible en el suelo. Aplicaciones de residuos con C:N inferiores a 20 (alto contenido de N) resultan en una mineralización neta de N durante la descomposición de estos. Debido a que los residuos de maíz-sorgo tardan más de 6 meses en descomponerse, esto significa una inmovilización importante del N disponible para el maíz. Estudios a largo plazo sugieren que la inmovilización del N es temporal estableciéndose un nuevo equilibrio en la mineralización e inmovilización del N en el suelo (Barreto, 1989). Experiencias anteriores en el PRM muestran efectos negativos sobre el rendimiento de maíz con aumentos en las dosis de rastrojo (mantillo). Sosa (1992), con niveles de 0 a 30 t/ha de mantillo, mostró que hay un pequeño efecto negativo sobre el rendimiento de maíz por las dosis elevadas de mantillo.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el efecto y la interacción de diferentes niveles de mantillo y N en diferentes ambientes a través de la región, así como examinar las bases fisiológicas y agronómicas de la posible interacción mantillo x N.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron un total de 12 ensayos a través de localidades y años, de la siguiente manera: 2 en 1992 (Jutiapa y La Máquina, Guatemala), 6 en 1993 (2 en Guaymango y 1 en Texistepeque, El Salvador; Jutiapa y Cuyuta, Guatemala; San Andrés, El Salvador), 3 en 1994 (Jutiapa y Cuyuta, Guatemala; San Cristóbal, Nicaragua) y 1 en 1995 (Jutiapa, Guatemala). Por país, 7 fueron en Guatemala, 4 en El Salvador y 1 en Nicaragua. En algunas localidades (Jutiapa y Cuyuta, Guatemala, 93,94 y 95) los ensayos se establecieron en los mismo sitios en busca de observar efectos a mediano y largo plazo. Casi todos los ensayos fueron establecidos en campos de agricultores.

Se usó un arreglo factorial de tratamientos en bloques completos al azar, con tres repeticiones por localidad. Los factores evaluados fueron: niveles de rastrojo (mantillo superficial) con 0, 5 y 10 t/ha y dosis de nitrógeno con 0, 75 y 150 kg N/ha, para un total de 9 tratamientos. En algunas localidades se agregó el nivel 2.5 t/ha (Jutiapa 93, 94 y 95) o se sustituyó este nivel por el de 10 t/ha (Cuyuta 93 y 94). La fertilización fosforada fue uniforme y consistió de 30 kg P/ha, usando triple superfosfato (0-46-0) como fuente.

La unidad experimental fue de 6 surcos de 5 m de largo, con distancia entre surcos de 0.75-0.80 m y entre posturas de 0.40-0.50, dependiendo de la localidad,

colocándose 2 pl/postura, para una densidad teórica de 5.0-5.3 plantas/m². A la cosecha se tomaron solamente los 4 surcos centrales. Se usó la variedad de maíz recomendada para cada localidad, tratándose la semilla con insecticida para control de plagas del suelo. Se mantuvo control sobre malezas e insectos del follaje durante el ciclo de cultivo. A la cosecha se midió: número de plantas cosechadas, número de mazorcas totales y podridas, el peso de campo y la humedad del grano. Se tomó también peso de planta (parte aérea) para estimar rendimiento de rastrojo y de biomasa total.

Se realizó análisis de varianza por localidad y al combinado de las 12 localidades. Se efectuó también análisis de regresión con niveles de rastrojo y nitrógeno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza muestra que el N fue el factor más importantes en las diferencias de rendimiento detectadas (Cuadro 1), mientras que ni los niveles de mantillo ni la interacción de mantillo x N tuvieron un efecto significativo sobre las variables analizadas.

Para rendimiento de grano (Cuadro 2) se puede observar que, además de las diferencias entre localidades, el N absorbe la mayor proporción de los cuadrados medios, lo que hace que este factor sea altísimamente significativo en términos estadísticos ($P < 0.001$). La interacción significativa localidad*N es esperada, debido al amplio rango de las localidades donde se realizaron los ensayos. Sin embargo, es interesante observar la no interacción de los factores en el efecto sobre las variables estudiadas, lo cual permite analizar con mayor claridad los resultados.

En términos de efectos netos promedio a través de localidades, años y dosis de N (Cuadro 3), el rendimiento tiende a disminuir conforme aumentan los niveles de rastrojo, fundamentalmente a una disminución en peso de la mazorca. A dosis de 75 kg N/ha, el rendimiento se casi duplica en comparación con 0 N, pero sigue siendo afectado negativamente por los niveles de mantillo. Sin embargo, a dosis de 150 kg N/ha, el rendimiento aumenta levemente con relación a 75 kg N/ha, pero casi no responde a niveles de rastrojo, asumiéndose que esta dosis, o cerca de ella, que cubre la demanda del cultivo y la de los microorganismos que participan en la descomposición del rastrojo.

Cuadro 1. Resumen de los resultados de los análisis de varianza de la principales variables de respuesta, combinado de 12 localidades. Centro América, 1992-1995.

Variable de Respuesta	Fuente de Variación		
	Nivel Ras	Dosis N	Interacción
Rendimiento grano	NS	***	NS
Rendimiento rastrojo	NS	***	NS
Biomasa	NS	***	NS
% Mazorcas Podridas	NS	***	NS
Plantas/M2	NS	NS	NS
Mazorcas/M2	NS	***	NS
Mazorcas/planta	NS	***	NS
Peso de mazorca	NS	***	NS

NS = no significativo; *** = significativo al 0.1%

Cuadro 2. Análisis de varianza combinado para rendimiento.

Fuente de variación	GL	CM	P<F
Localidades	11	61.6	***
Repeticiones(localidad)	24	1.0	
Nitrógeno	2	122.8	***
Rastrojo	3	0.8	NS
Nitrógeno*Rastrojo	6	0.6	NS
Nitrógeno*Localidad	22	4.1	***
Rastrojo*Localidad	24	0.7	NS
Error	258	0.5	

NS = no significativo; *** = significativo al 0.1%

Cuadro 3. Efecto de nitrógeno y rastrojo sobre las principales variables de respuesta, combinado de 12 localidades. Centro América, 1992-1995.

Factor	Variable de respuesta					
	Grano t/ha	Rastrojo t/ha	% maz podrida	Biomasa t/ha	mz/pl	Peso maz (g)
Nivel Rastrojo (ton/ha)						
0.0						
2.5*	3.76	3.86	11.5	7.40	0.92	76.0
5.0	3.83	3.84	11.4	7.30	0.97	58.5
10.0	3.61	3.62	14.8	6.89	0.93	75.7
	3.57	3.93	11.4	7.43	0.89	73.8
Nivel N (kg/ha)						
0	2.36	2.77	15.4	4.77	0.83	54.5
75	4.10	4.19	11.4	8.07	0.96	78.6
150	4.56	4.47	10.0	8.88	0.98	86.1

* = promedio de 2 localidades (45 observaciones)

El rendimiento de grano se incrementa en 1.7 t/ha al pasar de 0 a 75 kg N/ha (23 kg grano/ kg N aplicado), en tanto que al pasar de 75 a 150 kg N/ha el incremento es de 0.5 t/ha (6 kg grano/ kg N aplicado). Sin embargo, este comportamiento es distinto según los niveles de rastrojo, notándose que cuando no se pone rastrojo (0 t/ha) hay una fuerte respuesta a N (0 a 75 kg N/ha), pero

entre 75 y 150 kg N/ha, la respuesta es mínima. En comparación, a niveles de 5 y 10 t/ha de mantillo, el incremento en rendimiento con dosis de 0 a 75 kg N/ha es menor, pero existe una respuesta positiva a dosis mayores de 75 kg N/ha (de 75 a 150 kg N/ha), debido, como ya se mencionó antes, que hay que aplicar suficiente N para cubrir las demandas del cultivo y de los

microorganismos mineralizadores. Esta misma respuesta se ha observado en otro tipo de ensayos (Zea, 1995), en donde aplicaciones mayores de 75-100 kg N/ha no reportan mayores incrementos de rendimiento.

En términos generales (Cuadro 4) por cada kg N/ha aplicado el rendimiento de grano aumenta 15 kg promediado a través de todos los niveles de rastrojo. Sin embargo, esta ganancia es variable por localidad y año para cada nivel de rastrojo (ver Cuadro 4). Es claro que la respuesta a N casi no se ve afectada por el nivel de mantillo, con rangos de 4 a 26 kg grano/kg N para 0 t/ha de mantillo, de 1 a 29 para 5 t/ha de mantillo, de 4 a 32 para 10 t/ha de mantillo, y un promedio general de 3 a 29 para todos los niveles de rastrojo.

El incremento en rendimiento se explica principalmente por el incremento en el número de mazorcas por planta y mayor peso de mazorca, notándose, como en estudios anteriores (Sosa et al., 1993), que los niveles de rastrojo no afectan consistentemente al número de mazorcas por planta (Cuadro 3), a diferencia de otros estreses como la sequía (Bolaños y Barreto, 1990).

La respuesta del maíz a niveles de mantillo a diferentes dosis de N (Cuadro 5) muestra que en promedio el rendimiento de grano de maíz se reduce 16 kg/ha a 0 N y 51 kg/ha a 75 kg N/ha. A niveles altos de N, el rendimiento no se ve significativamente afectado por los niveles de mantillo.

Cuadro 4. Respuesta del rendimiento de maíz a dosis de N (kg de grano maíz por kg N aplicado) a diferentes niveles de rastrojo (ton) aplicados como mantillo superficial a través de 12 localidades en Centro América, 1992-1995.

Localidad	Niveles de rastrojo (ton/ha)				
	0	2.5	5	10	Combinado
1 La Máquina	18**		23***	28***	23***
2 Jutiapa	22**		24***	27***	24***
3 Guaymango	4 ^{ns}		1 ^{ns}	4 ^{ns}	3*
4 Guaymango	9 ^{ns}		14*	10 ^{ns}	11**
5 Texistepeque	18**		20**	22**	20***
6 Cuyuta	17**	13 ^{ns}	20***		17***
7 Jutiapa	14***		10*	14***	12***
8 San Cristóbal	8 ^{ns}		1 ^{ns}	9*	5 ^{&}
9 San Andrés	8 ^{ns}		6 ^{ns}	5 ^{ns}	6*
10 Jutiapa	16***	8*	14**	10**	12***
11 Cuyuta	15 ^{ns}	11 ^{ns}	6 ^{ns}		11*
12 Jutiapa	26***	30***	29***	32***	29***
PROMEDIO	15***	15**	14***	16***	15***

* = significativo al 0.1%; ** = significativo al 1%; * = significativo al 5%; & = significativo al 10%; ^{ns} = no significativo.

Cuadro 5. Respuesta del maíz a dosis de rastrojo como mantillo (kg de grano maíz por ton de rastrojo) para distintos niveles de N a través de 12 localidades, 1992-1995.

Localidad	Niveles de N (kg/ha)			
	0	75	150	Combinado
1 La Máquina	-58 ^{ns}	-30 ^{ns}	87 ^{&}	0 ^{ns}
2 Jutiapa	-19 ^{ns}	-13 ^{ns}	63 ^{ns}	10 ^{ns}
3 Guaymango	-17 ^{ns}	-53*	-9 ^{ns}	-27 ^{ns}
4 Guaymango	-21 ^{ns}	-14 ^{ns}	-18 ^{ns}	-59 ^{ns}
5 Texistepeque	-56 ^{ns}	-90 ^{ns}	2 ^{ns}	-48 ^{ns}
6 Cuyuta	-46 ^{ns}	-31 ^{ns}	49 ^{ns}	-9 ^{ns}
7 Jutiapa	79**	77**	88 ^{&}	81 ^{&}
8 San Cristóbal	0 ^{ns}	-47 ^{ns}	19 ^{ns}	-9 ^{ns}
9 San Andrés	50 ^{ns}	-22 ^{ns}	7 ^{ns}	11 ^{ns}
10 Jutiapa	95*	62 ^{ns}	37 ^{ns}	65 ^{ns}
11 Cuyuta	150 ^{ns}	85 ^{ns}	-126 ^{ns}	36 ^{ns}
12 Jutiapa	-77 ^{&}	-39**	-11 ^{ns}	-43 ^{ns}
PROMEDIO	-16^{ns}	-51^{ns}	3^{ns}	-21^{ns}

** = significativo al 1%; * = significativo al 5%; & = significativo al 10%; ^{ns} = no significativo.

Estos datos sugieren que adopción de la práctica de la labranza de conservación casi no tiene efectos positivos sobre el rendimiento del maíz a corto plazo, e incluso puede reducir sustancialmente el rendimiento de este en condiciones de baja disponibilidad de N. Dado que la relación C:N juega un papel muy importante en este aspecto (Barreto, 1989), aparentemente sólo cuando se pone suficiente N al sistema se logra suplir la demanda de este elemento para uso en el proceso de descomposición del rastrojo y la demanda del cultivo.

Sin embargo, en algunos casos, cuando existe limitación de humedad, como en 1993 y 1994 en Jutiapa, Cuyuta y San Andrés (Cuadro 5), el uso de rastrojo como mantillo superficial tuvo efectos positivos sobre el rendimiento de maíz (70 a 80 kg grano por ton mantillo aplicados, ver Cuadro 5), hipotéticamente debido a una mayor retención de humedad en el suelo (Zea, 1995).

Es importante resaltar que se detectó una relación fuerte entre pudrición de mazorca y bajos niveles de N (0 N) y no así con niveles altos de rastrojo (Cuadro 3), situación que puede deberse a que el rastrojo utilizado estaba libre de inóculo contaminante, o que las condiciones de los ambientes donde se condujeron los ensayos no tenían condiciones favorables para la enfermedad.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos muestran una interacción importante entre uso de rastrojo de maíz como mantillo y N. En la mayoría de los casos, el maíz casi no responde positivamente al uso de rastrojo como mantillo, e incluso los rendimientos del maíz se pueden reducir significativamente a niveles bajos de N. Por lo tanto, es importante considerar la economía del N cuando se recomiende la labranza de conservación.
2. El equilibrio en la demanda de N a niveles altos de mantillo (5 y 10 t/ha) parece alcanzarse con 150 kg N/ha.
3. En ambientes con condiciones de humedad limitante, el rendimiento de maíz puede aumentar con el uso de mantillo superficial.
4. La dosis de N es el factor que produce los efectos más significativos sobre el rendimiento de maíz y sobre las otras variables estudiadas.
5. La pudrición de mazorca parece estar más asociada con bajo N que con altos niveles de rastrojo.

REFERENCIAS

- Barreto, H.J. 1989. Cambios en propiedades químicas, patrones de fertilización y encalamento en suelos bajo labranza cero Documento de trabajo CIMMYT-PROCIANDINO. El Batán, México. pp. 43-70.
- Bolaños, J. 1989. Suelos en relación a la labranza de conservación: Aspectos físicos. Documento de trabajo CIMMYT- PROCIANDINO. El Batán. México. pp. 19-42.
- Bolaños, J. y H. Barreto. 1991. Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz de 1990. Análisis de los Ensayos Regionales de Agronomía, 1990. Programa Regional de Maíz. Guatemala. pp. 9-25.
- Calderón, F. et al. 1991. Aspectos institucionales de la adaptación y difusión de la labranza de conservación en Metalío-Guaymango, El Salvador. Documento de trabajo Programa Regional de Maíz. Guatemala. pp. 73-83.
- INSIVUMEH. 1984. Análisis de la estación lluviosa de Guatemala con fines agrícolas. Departamento de Sistemas Atmosféricos. Sección de Climatología-Agrometeorología. Guatemala. pp 11-12.
- Johnson, R.R. 1988. Soil engaging tool effects on surface residue and roughness with chiseltape implements. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:237-243.
- Soil Conservation Society of America. 1976. Resource Conservation Glossary. Ankeny, Iowa.
- Sosa, H. 1992. Efecto de la cantidad de mantillo en el rendimiento de los sistemas maíz-sorgo y maíz-frijol, bajo Labranza cero, El Salvador 1991. Síntesis de Resultados Experimentales de 1991. Programa Regional de Maíz. Guatemala. Vol 3. pp. 105-114.
- Sosa, H. y J. Bolaños. 1993. Respuesta del maíz-maicillo y maíz-frijol a distintos niveles de mantillo bajo labranza de conservación. Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992. Guatemala. Vol. 4, pp. 114-118.
- Sosa, H. et al. 1993. Respuesta diferencial del maíz a la labranza de conservación a distintas dosis de nitrógeno. Pp. 119-123 en Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, Guatemala.
- Violic, A.D. 1989. Breve historia de la labranza de conservación. Documento de trabajo CIMMYT-PROCIANDINO. El Batán. México. pp. 1-4.
- Zea, J.L. 1995. Efecto de dosis de rastrojo y nitrógeno sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en dos localidades de Guatemala. Informe de Resultados 1994, Programa de Maíz, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. Guatemala, pp. 110-115.

Eficiencia del Uso de Nitrógeno Aplicado en Forma de Urea en el Cultivo de Maíz, Azuero Panamá 1993-95

Román Gordón¹, Andrés González², Nivaldo De Gracia³ y Jorge Franco²

RESUMEN

Diversos estudios han mostrado que la eficiencia de absorción de los fertilizantes es baja en los sistemas de producción de maíz. Este estudio evaluó diferentes métodos de aplicación de urea-N (voleo, postura, incorporación del abono) y número de aplicaciones (dos vs tres) y un testigo absoluto sin N. Se establecieron seis tratamientos en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en ocho localidades del país, durante dos años. La dosis aplicada en todos los tratamientos fue de 100 kg/ha de urea-N. Los resultados muestran una eficiencia baja de absorción para todos los tratamientos cercana al 30%. La eficiencia aparente de uso de N entre los diferentes métodos de aplicación como son chuzo vs voleo (32 vs 23%) y de postura vs voleo (30 vs 23%) indican una mejoría de alrededor del 8% de ganancia por los métodos y de 2% por pasar de 2 a 3 aplicaciones fraccionadas (30 vs 32%). Esta ganancia en rendimiento deberá compensar los costos adicionales de esta forma de aplicación de N.

El uso del nitrógeno es considerado como esencial en la producción del cultivo de maíz. Después de muchos estudios se ha podido documentar la importancia de este elemento, así como la respuesta positiva de este cultivo a la aplicación de diferentes fuentes que contienen este elemento. Gordón et al. (1991, 1992) encontraron que el nivel óptimo económico de la aplicación de N varió de 125 a 197 kg/ha, en los lugares en donde se realizaron experimentos de dosis de N.

Para la producción de maíz en Azuero se realizan aplicaciones de N en forma de urea, que oscilan entre 70 y 165 kg/ha, en uno a tres fraccionamientos. Una gran proporción de éstos aplican el fertilizante a la superficie del suelo al voleo o por bandas. Esta forma superficial de aplicación de fuentes de N amoniacales pueden conducir a pérdidas considerables por volatilización directa o por escorrentía, y así contribuir a la baja eficiencia de su uso.

Si aunamos a esta baja eficiencia los cambios recientes en la política económica hacia la producción agrícola, donde la liberación de los mercados es quizás lo más relevante, se necesitará una mayor eficiencia técnica y económica que permita a los productores permanecer en el mercado. En este sentido, mejorar la eficiencia en el uso de los insumos agropecuarios se convierte en un objetivo básico.

El objetivo de este estudio fue determinar el rango de la eficiencia de uso de N-urea bajo distintos métodos de aplicación, comparando la respuesta del maíz a dosis de N-urea aplicado al voleo, por posturas e incorporado y fraccionamiento (dos vs tres), con la finalidad de identificar métodos más eficientes de la aplicación del N-urea y hacer estimaciones generales de la eficiencia de uso del N en los sistemas de producción de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante dos años consecutivos (1993 y 1994) se establecieron ocho ensayos en la Región de Azuero, en la segunda época de siembra (agosto-enero). El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las parcelas experimentales fueron de cuatro surcos de 5.5 m de largo (16.5 m²). La siembra se realizó a una distancia de 0.75 m entre hileras y 0.50 m entre golpes, dejando dos semillas por golpe, para una densidad teórica de 5.33 plantas/m². El cultivar utilizado fue el híbrido P-8916, el cual fue tratado con el insecticida furatiocarb a razón de 8 g i.a./ha. El control de malezas se realizó con la aplicación de la mezcla atrazina más pendimetalina a razón de 3.0 + 3.0 lt/ha en algunas localidades y de glifosato a razón de 4.0 lt/ha en otras. Todos los ensayos recibieron una fertilización de 60 kg de P₂O₅/ha, al momento de la siembra.

Se evaluaron seis tratamientos, que incluyeron una variación en el fraccionamiento y en los métodos de aplicación de la urea. En el caso de dos fraccionamientos, la mitad se aplicó a la siembra y la otra mitad a los 30 días después de la siembra (dds). En el caso de tres fraccionamientos un tercio (33%) se aplicó a la siembra, 33% a los 21 dds y el último 33% a los 35 dds (Cuadro 1).

¹ Ing. Agrónomo Msc., ²Agrónomo, ³Ing. Agrónomo, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro Regional Agropecuario de Azuero.

En este ensayo se usó un clorofilómetro (modelo SPAD-502, Minolta) para estimar el contenido de clorofila en la hoja de la mazorca al momento de la floración en 12 plantas por parcela y su transformación en %N. La relación de la lectura de este aparato fue encontrada en ensayos previos (Gordón et al., 1993) y la fórmula para la transformación fue:

$$\%N = 0.048 \times (\text{Lectura del Clorofilómetro})$$

Se tomaron datos de rendimiento, número de plantas y mazorcas cosechadas, porcentaje de humedad del grano y rendimiento de rastrojo. Se tomaron los registros de precipitación pluvial de la región durante los dos años en que se realizaron los ensayos (Cuadro 2). Para el análisis físico-químico del suelo, se tomó una muestra compuesta de 0-20 cm de profundidad en cada uno de los bloques. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos del IDIAP y se realizó el análisis según Hunter (1976). El análisis de suelo por localidad se observa en el Cuadro 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este experimento en relación al rendimiento de granos y otras variables de respuesta, se observan en el Cuadro 4. El Tratamiento 1 (T_1), con dos aplicaciones de urea al voleo en forma de banda, presentó la peor eficiencia posible en la aplicación del fertilizante. Este tratamiento representa el límite inferior en un sentido agronómico de la eficiencia de uso del fertilizante. Los Tratamientos 2 y 3 (T_2 y T_3) mejoran sistemáticamente la eficiencia de uso, al aplicar la urea en dos aplicaciones. En el caso del T_2 las aplicaciones fueron por posturas de forma superficial pero localizado y en el T_3 las aplicaciones fueron a chuzo, enterrado a 5 cm aproximadamente.

El Tratamiento 4 (T_4) representa la mejor eficiencia posible, al fraccionar la urea en tres aplicaciones todas enterradas a chuzo (5 cm de profundidad). El Tratamiento 5 (T_5) representa el testigo absoluto sin aplicar N, mientras que el Tratamiento 6 (T_6) representa la práctica utilizada en todos los ensayos realizados por el Programa de maíz del IDIAP, en donde la primera aplicación es en forma de chuzo (enterrado) y la segunda en forma superficial pero localizada al lado de la planta, es decir la mezcla del Tratamiento 3 y 2 respectivamente.

Cuadro 1. Estructura de tratamientos del ensayo de eficiencia de uso de nitrógeno, Azuero, Panamá, 1993-95.

Trat	kg N/ha	1ª Apl	2ª Apl	3ª Apl
1	100	voleo	voleo	
2	100	postura	postura	
3	100	chuzo	chuzo	
4	100	chuzo	chuzo	chuzo
5	0			
6	100	chuzo	postura	

Cuadro 2. Precipitación acumulada cada 10 días, en tres localidades de la Región de Azuero, Panamá, 1993 (mm/10días)

Fecha	Parita	El Ejido	Las Tablas
10 Sep	63.0	55.0	75.0
20 Sep	72.5	43.5	90.0
30 Sep	106.5	65.5	110.0
10 Oct	17.5	19.0	21.5
20 Oct	5.5	8.0	10.
31 Oct	44.5	36.0	55.0
10 Nov	17.5	16.0	20.5
20 Nov	41.5	50.5	73.0
30 Nov	58.5	72.5	90.5
10 Dic	0.0	0.0	0.0
20 Dic	18.5	30.0	21.0
31 Dic	0.0	0.0	0.0

1994

10 Sep	0.0	0.0
20 Sep	18.0	23.5
30 Sep	121.0	121.0
10 Oct	30.0	69.0
20 Oct	83.5	140.0
31 Oct	56.5	69.5
10 Nov	68.5	184.0
20 Nov	2.0	74.0
30 Nov	58.5	33.0
10 Dic	22.5	8.5

Cuadro 3. Principales características físico-químicas de los suelos de los ensayos, Azuero, Panamá, 1993-94.

	Parita	Pedernal	Ejido	L.Tablas
pH	5.7	5.3	5.7	5.6
P	1.5	1.5	1.4	2.5
K	94.1	43.6	11.0	129.0
Ca	1.31	1.65	1.86	1.34
Mg	0.32	0.39	0.72	11.2
Al	0.1	0.1	0.1	tr
M.O.	3.35	2.95	3.35	2.41
Mn	3.2	1.3	1.1	1.3
Fe	1.7	0.5	0.9	1.0
Zn	0.3	0.3	0.4	0.3
Cu	0.2	tr	0.1	tr
Text	30-28-42	28-26-46	32-24-44	24-22-44

P, K, Mn, Fe, Zn, y Cu= ug/ml; Ca, Mg y Al = meq/100ml; M.O., Text= %

El análisis combinado a través de las ocho localidades mostró claramente los efectos de la incorporación y el fraccionamiento sobre el rendimiento y la economía del N del cultivo. Tanto el rendimiento y porcentaje de N en la hoja aumentan consistentemente a medida que avanzamos del Tratamiento 1 al 4 (Cuadro 4).

Estas diferencias en rendimiento, se deben a cambios en el peso de las mazorcas, sin detectar diferencias en el número de plantas o mazorcas/m² o mazorcas por planta. De todos los métodos de aplicación, voleo en banda en dos aplicaciones (T₁) resultó con el menor rendimiento y menor valor de porcentaje de N. Los mejores métodos de aplicación fueron el de enterrar la urea, ya sea, en dos o tres aplicaciones a chuzo (T₃ y T₄); resultados éstos consistentes con las expectativas. El T₆ y T₂ tuvieron comportamientos intermedios entre el T₁ y T₃. Las mediciones de clorofila o %N en la hoja a la floración lograron detectar diferencias entre éstos (Cuadro 4).

El Cuadro 5 muestra los análisis estadísticos del combinado para las variables rendimiento de grano y sus componentes. La diferencia entre el T₄ y T₁ (0.25 t/ha), representa la ganancia en eficiencia debido a los cambios más extremos en el método de aplicación. Las ganancias con la aplicación por posturas T₂ (0.23 t/ha) y dos aplicaciones incorporadas T₃ (0.28 t/ha) fueron similares, mientras que la diferencia entre la combinación de los métodos (T₆), fue la más baja (0.19 t/ha).

La diferencia en rendimiento entre T₄ y/o T₃ vs T₁ deberá compensar el costo adicional de los tres o dos fraccionamientos y el costo adicional de enterrar la urea, en comparación con el voleo de la urea. En el caso del T₆ vs T₁ se deberá compensar por el costo adicional de enterrar el N en la primera aplicación y la postura de la segunda. En promedio, el efecto neto de mejorar la práctica de aplicación N-urea de voleo-voleo vs chuzo en dos aplicaciones (T₁ vs T₃) fue de 0.28 ± 0.32 t/ha, mientras que el T₄ vs T₁ fue de 0.25 ± 0.35 t/ha, los cuales fueron significativos al 9 y 13% en los estimados de las diferencias, aunque la diferencia varió según las localidades (Cuadro 6).

La diferencia entre los distintos tratamientos con aplicación de nitrógeno versus el testigo absoluto, T₅, permitió estimar las diferencias en la eficiencia del uso de N-urea, bajo los distintos métodos de aplicación de la urea. El nivel de rendimiento del T₅ también permitió estimar la disponibilidad de este elemento en el suelo. El Cuadro 6 muestra las diferencias en rendimiento por localidad y el combinado de todos los tratamientos y el testigo absoluto, siendo la mayor diferencia en el análisis combinado, la del T₃ con 1.04 ± 0.51 t/ha, seguido por la

del T₃ y T₂ con 1.01 ± 0.47 y 0.99 ± 0.56 t/ha la de menor magnitud fue la del T₁ con 0.76 ± 0.58 t/ha. El T₆ registró un valor muy parecido al T₂ con una diferencia con respecto al testigo absoluto de 0.95 ± 0.53 t/ha.

Usando estas diferencias de rendimiento entre los tratamientos con 100 kg de N aplicado y el testigo absoluto (Δ Rend), se puede estimar la eficiencia aparente de uso. El primer paso es calcular el contenido de N removido por el maíz. Utilizando el índice de cosecha (IndC) para cada Tratamiento (el cual tuvo valores de 29 a 42%) y el contenido de N en el grano y rastrojo de maíz de 1.5% y 1.0% (promedio total de 1.25%), respectivamente, se puede calcular el diferencial de N absorbido con la fórmula:

$$\Delta N \text{ abs (kg/ha)} = (\Delta \text{Rend} / \text{IndC}) \times 0.125 \times 1000$$

La cantidad adicional de N absorbido (ΔN abs) relativo al testigo absoluto en proporción al N aplicado (100 kg N/ha) es la eficiencia de uso o absorción

El Cuadro 6 muestra las estimaciones por localidad y el combinado. En promedio estas fueron desde 23.7% (T₁) hasta 32.3% (T₃). Aún a pesar de la variabilidad en la respuesta de N los datos muestran un aumento promedio aparente de 8.6% en la eficiencia de uso entre el T₃ en comparación con el T₁. Este aumento en la eficiencia puede significar cerca de B/ 5.00/ha considerando dosis promedio de aplicación (80-100 kg/ha), a los precios actuales de urea-N (B/ 0.50/kg), lo que equivale a varios miles de balboas de ahorro por este aumento en la eficiencia.

En los valores de la eficiencia de uso de N de los tratamientos se detectó una considerable variación entre las diferentes localidades. Las mayores eficiencias se encontraron en Guararé con 44.7% (promedio de todos los tratamientos), mientras que las más bajas fueron ubicadas en Chitré y El Pedernal (promedio de 10.7 y 13.3%). Estas diferencias entre los diferentes tratamientos puede estar relacionada por el uso de los suelos, así como por la distribución de las lluvias.

Debido al elevado rendimiento de las parcelas sin N en algunas de estas localidades, la eficiencia aparente de uso de N fue baja. Esta manera de calcular la eficiencia de uso depende fuertemente de los valores de rendimiento en los tratamientos o parcelas sin aplicación de N, factor que puede causar errores significativos. Sin embargo, es factible mejorar la eficiencia de uso del N cambiando el método de aplicación. Se sugiere continuar esta línea de investigación.

Cuadro 4. Rendimiento de grano y los principales componentes de los tratamientos evaluados en el ensayo de eficiencia de N (combinado), Azuero, Panamá, 1993-94.

Variables/ Trat	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Rend Grano (t/ha)	3.77	4.00	4.05	4.02	3.01	3.95
Ptm ²	4.93	5.15	5.15	5.23	5.02	5.08
Mzm ²	4.53	4.81	4.74	4.82	4.50	4.66
MxP	0.92	0.94	0.92	0.92	0.90	0.92
Pmz (gr)	81.90	82.09	84.01	82.81	64.73	83.67
Inc (%)	35.74	36.48	37.30	37.20	34.29	37.84
N Hoja (%)	2.19	2.29	2.33	2.33	1.96	2.36

Cuadro 5. Análisis estadístico del combinado de las cuatro localidades, para las variables rendimiento de grano y los principales componentes del rendimiento, Azuero, Panamá, 1993-94.

F. de V	g.l.	Cuadrados Medios					
		Ptm ²	Mzm ²	MxP	Pmz	Rendg	NHoja
Loc	7	1.932**	2.358**	0.123**	12716**	38.542**	2.425**
Rep(Loc)	23	0.133	0.175	0.007	488	1.457	0.126
Trat	5	0.347**	0.600**	0.005 ^{n.s.}	1825**	5.250**	0.685**
Loc x Trat	35	0.123 ^{n.s.}	0.175 ^{n.s.}	0.006**	103 ^{n.s.}	0.317 ^{n.s.}	0.074 ^{n.s.}
Error	115	0.107	0.171	0.003	153	0.423	0.062
CV(%)		6.41	8.85	6.51	15.72	17.35	11.16
T4 vs T1	1	1.378**	1.298**	0.00003 ^{n.s.}	12.78 ^{n.s.}	0.963 ^a	0.317**
T4 vs T5	1	0.634**	1.603**	0.0100 ^a	5384.0**	16.72**	2.072**
T1 vs T5	1	0.140 ^{n.s.}	0.017 ^{n.s.}	0.0088 ^a	4873.3**	9.67**	0.769**
T6 vs T1	1	0.330 ^a	0.269 ^{n.s.}	0.000 ^{n.s.}	48.16 ^{n.s.}	0.541 ^{n.s.}	0.454**
T6 vs T5	1	0.039 ^{n.s.}	0.418 ^{n.s.}	0.0088 ^a	5887.5**	14.78**	2.400**

^a, *, **, se refieren a diferencias estadísticas al 10, 5 y 1%, respectivamente.

Cuadro 6. Diferencias en el rendimiento de grano entre los tratamientos evaluados y el testigo absoluto y entre los tratamientos de interés, del ensayo de eficiencia de N, Azuero, Panamá, 1993-94.

Loc		T ₁ -T ₅	T ₂ -T ₅	T ₃ -T ₅	T ₄ -T ₅	T ₆ -T ₅	Prom	T ₄ -T ₁	T ₃ -T ₁	T ₂ -T ₁
El Ejido	Dif	0.48	0.89	0.93	0.95	0.75		0.48	0.46	0.41
	Efic	15.32	28.61	28.98	30.49	24.16	25.51			
Parita	Dif	1.13	0.95	1.116	0.89	1.19		-0.24	0.03	-0.18
	Efic	40.44	31.11	37.27	27.88	38.21	34.98			
Pedernal	Dif	0.07	0.15	0.42	0.44	0.65		0.38	0.36	0.09
	Efic	2.78	6.08	16.22	16.29	25.21	13.32			
Las Tablas	Dif	1.35	1.77	1.27	1.86	1.44		0.51	-0.08	0.42
	Efic	39.85	50.39	38.91	53.20	41.08	44.69			
Chitré	Dif	-0.18	0.48	0.47	0.54	0.49		0.72	0.64	0.65
	Efic	-5.31	14.28	13.98	16.20	14.70	10.77			
Los Higos	Dif	0.87	0.74	1.31	1.18	0.58		0.31	0.45	-0.13
	Efic	26.01	22.11	39.36	35.31	17.25	28.01			
Guararé	Dif	1.36	1.70	1.99	1.44	1.96		0.08	0.63	0.34
	Efic	40.80	50.91	59.61	43.11	58.80	50.65			
La Anea	Dif	1.00	1.25	0.80	0.78	0.51		-0.22	-0.20	0.25
	Efic	29.94	37.56	24.00	23.34	15.36	26.04			
Promedio	Dif	0.76	0.99	1.04	1.01	0.95		0.25 ^a	0.29	0.23
	Efic	23.73	30.13	32.29	30.72	29.35	29.24			
Desv. Est.		0.58	0.56	0.51	0.47	0.53		0.35	0.32	0.29

^{n.s.}, ^a, *, **, ***, se refieren a P < 0.10, 0.05, 0.01 y 0.001, respectivamente

La relación entre clorofila y N en la hoja de la mazorca a la floración y el rendimiento final fue muy fuerte. Los datos confirman la importancia de la economía del N en la elaboración del rendimiento final. Debido a la alta sensibilidad del clorofilómetro para detectar diferencias en el contenido de N en las hojas y la alta importancia de éste en la elaboración del rendimiento, se sugiere continuar usando el clorofilómetro en la investigación futura del IDIAP.

CONCLUSIONES

1. Al comparar los métodos de aplicación al voleo, postura e incorporado no se detectaron diferencias significativas entre éstos. Sin embargo, el efecto de los tratamientos fue consistente pero pequeño ante la variabilidad existente en los ensayos.
2. Los mejores métodos de aplicación fueron el fraccionamiento incorporado en dos y tres ocasiones (T_3 y T_4). El método de aplicación de más baja eficiencia fue el de aplicación al voleo en forma de banda en las dos aplicaciones (T_1).
3. La diferencia entre los dos tratamientos extremos (T_4 vs T_1) en rendimiento de grano fue en promedio 0.25 ± 0.35 t/ha, mientras que la diferencia entre los tratamientos T_3 vs T_1 fue de 0.29 ± 0.32 t/ha.

4. Las ganancias detectadas en rendimiento fueron acompañadas por cambios en el contenido de clorofila y N en el follaje del cultivo. A pesar que no se lograron detectar diferencia en rendimiento entre los métodos de aplicación, las mediciones del clorofilómetro y porcentaje de N en el follaje si detectaron diferencias entre tratamientos de una manera significativa.

5. Se logró un aumento de 8.6 y 7.3 % en la eficiencia de aplicar el N-urea en dos y tres fraccionamientos incorporados en relación al peor método de eficiencia, el cual fue el de voleo-voleo

REFERENCIAS

- Gordón R. *et al.* 1992. Evaluación de la respuesta física y económica al Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el cultivo de maíz en la Región de Azuero, Panamá, 1991. En: Síntesis de los Resultados Experimentales del Programa de Maíz Panamá 1991-1992. pag 135-141.
- Gordón R. *et al* 1991. Evaluación de la respuesta física y económica al nitrógeno y fósforo en tres localidades de Azuero en el cultivo de maíz, Panamá, 1990. En resultados de investigación IDIAP, 10 pag.

Eficiencia de Uso de Nitrógeno en el Cultivo de Maíz bajo Distintos Métodos de Aplicación

Luis Larios, Román Gordón, Rafael Obando, Manuel Osorio, Gustavo López y Jorge Bolaños¹

RESUMEN

Diversos estudios han mostrado que la eficiencia de absorción de los fertilizantes es baja en los sistemas de producción de maíz de la región. Una mejoría en la eficiencia de absorción significaría un impacto significativo en la rentabilidad de los sistemas de producción de maíz. Este trabajo reporta los resultados de 19 ensayos durante 1993-94 a través de la región de Centro América y el Caribe, para evaluar la eficiencia de absorción de urea-N en maíz bajo diversas prácticas de aplicación (voleo vs chuzado) y fraccionamiento (2 vs 3 aplicaciones), un testigo absoluto sin aplicación de N y el testigo del agricultor. Todos los ensayos recibieron 100 kg de N y dosis de 20 kg P/ha y se usó la mejor variedad de maíz recomendada para cada zona. Los datos muestran una eficiencia de absorción cercana al 30% para todos los tratamientos de aplicación de N. Comparaciones entre aplicaciones al voleo vs chuzado mostraron una respuesta significativa en rendimiento de grano al chuzado (de 0.39 t/ha $P < 0.001$), sin detectarse una mejoría por el fraccionamiento de 2 a 3 aplicaciones. Se detectó una relación fuerte y significativa entre el rendimiento final y el contenido de N en la hoja de la mazorca a la floración, estimada con clorofilómetros. Se esperaba que enterrar la urea (chuzado) incrementaría la eficiencia de uso de N más que la mejoría detectada.

Diversos estudios indican que la eficiencia de uso de los fertilizantes es baja en los sistemas de producción de maíz de la región. Las aplicaciones de N oscilan entre 80-100 kg N/ha en uno o dos fraccionamientos, normalmente con urea o sulfato de amonio (FAO, 1992). Una gran proporción de los pequeños agricultores aplican el fertilizante a la superficie del suelo al voleo o por posturas. Esta aplicación superficial de fuentes amoniacales pueden conducir a pérdidas considerables por volatilización directa o por escorrentía, y así contribuir a la baja eficiencia de uso.

El objetivo del presente estudio es determinar el rango agronómico de la eficiencia de uso de N-urea bajo distintas formas de aplicación comunes en la región. El trabajo evalúa la respuesta del maíz a dosis uniformes de N-urea bajo distintos métodos de aplicación (al voleo, por posturas e incorporado) y fraccionamiento. El objetivo de este trabajo es identificar mejores métodos de aplicación del N-urea y hacer estimaciones crudas de la eficiencia de uso de N-urea en los sistemas de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron un total de 19 localidades en 1993-94 siendo estas las siguientes: Cuyuta y La Máquina (Guatemala); Los Santos, La Pasera y las Tablas (Panamá); Cuyumapa (Honduras) y San Cristobal (Nicaragua) en 1993. Para 1994 fueron Chitré, Parita, Guararé y La Enea (Panamá); Jutiapa, San Jerónimo y Cuyuta (Guatemala); Cortes (Honduras); San Andrés (El Salvador) y San Cristobal (Nicaragua).

Del total sólo se incluyeron 13 localidades, bajo un diseño de bloques completos al azar con 3 o 4 repeticiones, cada parcela experimental fue de 4 surcos de 5 metros de largo (18 m²) a una densidad de maíz teórica de 5.33 pl/m². Se usó la variedad de maíz recomendada para cada localidad, en su mayoría híbridos de alto potencial de rendimiento. El manejo agronómico fue el adecuado, con respecto a la fertilización todos los ensayos recibieron adecuada cantidad de fósforo (>20 kg P/ha). El nitrógeno fue aplicado utilizando urea perlada a razón de 100 kg/ha y se mantuvieron los ensayos libres de plagas y de enfermedades.

Los ensayos evaluaron 5 tratamientos a nivel regional y tratamientos adicionales de interés local (Cuadro 1), sobre variación en el fraccionamiento y método de aplicación de urea. En el caso de 2 aplicaciones de urea, la mitad se aplicó a la siembra y la otra mitad a los 35 días después de la siembra (dds). En el caso de 3 fraccionamientos, el 40% se aplicó a la siembra, el 30% a los 25-30 dds y el restante 30% a los 40-45 dds.

¹ Investigadores de maíz de ICTA, Guatemala; IDIAP, Panamá, INTA, Nicaragua; CENTA, El Salvador; DICTA, Honduras y CIMMYT, Guatemala, respectivamente.

Cuadro 1. Estructura de tratamientos del ensayo de eficiencia de uso de urea-N.

Trt	Método	Dosis de N kg/ha	Número de fracc.	Aplicación			Descripción
				1a.	2a.	3a.	
1	voleo	100 kg N	2	voleo	voleo		Se espera la peor eficiencia, práctica generalizada en Sistemas de Producción
2	posturas	100 kg N	2	postura	postura		Mejoría parcial en eficiencia sobre voleo-voleo
3	chuzo	100 kg N	2	chuzo	chuzo		Mejor eficiencia posible, pero lleva costo adicional
4	chuzo	100 kg N	3	chuzo	chuzo	chuzo	Idem a Trt3, pero en 3 fracciones, esperándose aún mayor eficiencia
5	testigo absoluto	0 kg N	0				Testigo absoluto sin N

En 5 localidades, en 12 plantas por parcela, se tomó mediciones del contenido de clorofila en la hoja de la mazorca a la floración con un clorofilómetro (modelo Minolta SPAD-502) (Figura 1). En estas mismas, se tomó una muestra de la lámina foliar de la hoja para análisis químico de % N en laboratorio. Estos datos se utilizaron posteriormente para calibrar el clorofilómetro en función del % N en la hoja. Esta calibración fue forzada a intercepto= 0 y fue de %N = 0.048 x CHL ($r^2=0.99$) (Gordón et al., 1993). Se midió el contenido de clorofila a la floración con el clorofilómetro, rendimiento y sus componentes, rastrojo, biomasa total e índice de cosecha.

**Figura 1. Medidor de clorofila Minolta SPAD-502.**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Trt1, con dos aplicaciones de urea al voleo-voleo representa la peor eficiencia posible en la aplicación del N. Este tratamiento representa el límite inferior en un sentido agronómico de la eficiencia de uso del fertilizante. Los Trt2 y Trt3 mejoran la eficiencia de uso, al aplicar la urea por posturas (aún superficial, pero localizado) y al chuzo (enterrado aproximadamente a 5 cm) en 2 fraccionamientos. El Trt4 representa la mejor eficiencia posible, al fraccionar la urea en tres aplicaciones todas enterradas a chuzo. El Trt5 representa el testigo absoluto sin aplicación de N.

El análisis combinado de las 13 localidades muestra claramente los efectos de la incorporación y fraccionamiento sobre el rendimiento y economía del N en el cultivo. Tanto el rendimiento y contenido de N (clorofilómetro y %N en la hoja) aumentan consistentemente a medida que avanzamos en los tratamientos del 1 al 4 (Cuadro 3).

Las diferencias en rendimiento se deben a cambios en el peso de mazorca, sin detectar diferencias en pl/m², mz/m² o mz/pl. De todos los métodos de aplicación, voleo-voleo (Trt1) resultó con el menor rendimiento y menor valor de clorofila y % N. El mejor método fue de dos fraccionamientos chuzeados, consistente con las expectativas. Los Trt2 y Trt3 tuvieron comportamientos intermedios entre los Trt1 y Trt3. A pesar que los estimados de la diferencia en rendimiento entre el Trt1 y Trt3 no fueron significativos a nivel combinado, las mediciones de clorofila y el % N en la hoja a la floración

sí lograron detectar diferencias entre estos (Cuadro 3). Los datos sugieren que la medición de clorofila y/o % N ayudan a diagnosticar diferencias en rendimiento temprano durante el ciclo del cultivo.

El Cuadro 4 muestra los análisis individuales por cada localidad, pero solamente para los tratamientos extremos (Trt1 y Trt3), para estimar la eficiencia de uso de N. Diferencias entre Trt4 y Trt1 representan la ganancia en eficiencia debido a los cambios más extremos en el método de aplicación. Las ganancias con aplicación por postura (Trt2) o incorporado (Trt4) fueron menores. Estas diferencias en rendimiento entre el Trt3 y Trt1 deberán compensar por el costo adicional de 2 fraccionamientos y el costo adicional de enterrar la urea en comparación con el voleo. En promedio, el efecto neto de mejorar la práctica de aplicación de urea=N de voleo-voleo a chuzo-chuzo (Trt3-Trt1) fue de 0.27 t/ha. Las diferencias entre los tratamientos con 100 kg N/ha (Trt 1 al 4) contra el testigo absoluto (Trt5) permiten estimar la eficiencia de uso del fertilizante aplicado bajo los distintos métodos. El nivel de rendimiento del Trt 5 permite estimar la disponibilidad nativa del suelo y debe de usarse como nivel referencia para calcular las diferencias.

El Cuadro 4 muestra las diferencias en rendimiento por localidad del Trt 3 y Trt1 en comparación al testigo absoluto (Trt5). La respuesta promedio fue de 1.34 t/ha (± 0.86 t/ha) para el Trt3 y de 0.96 t/ha (± 0.56 t/ha) para el Trt1. También en estas comparaciones se detecta considerable variación a nivel regional, incluso localidades donde el efecto neto de aplicación de N fue negativo. Usando estas diferencias de rendimiento entre los tratamientos con 100 kg N aplicado y el testigo absoluto se puede estimar la eficiencia aparente de uso. El primer paso es calcular el contenido de N removido por el maíz. Entonces asumiendo un índice de cosecha cercano al 40% y contenido de N en el grano y rastrojo de maíz de 1.5% y 1.0% (promedio total de 1.2%), respectivamente, se puede calcular el diferencia de N absorbido.

$$\Delta N \text{ abs (kg/ha)} = \Delta \text{Rend}/0.4) \times 0.012 \times 1000$$

La cantidad de N absorbido (ΔN abs) relativo al testigo absoluto en proporción al N aplicado (100 kg/ha) es la eficiencia de uso. El Cuadro 4 muestra estimaciones de la eficiencia de uso por localidad. Estas promediaron 45 y 27%, respectivamente, para Trt 3 y Trt1. Aún a pesar de la variabilidad en la respuesta a N, los resultados muestran un aumento aparente de 18% en la eficiencia de uso entre el Trt 3 y Trt 1.

En resumen, se encontraron diferencias entre métodos de aplicación, siendo el mejor método el enterrado (2 fraccionamientos), siendo el peor método el superficial al voleo, encontrándose respuestas positiva de 0.38 t/ha al incorporarse versus el voleo, aumentado la eficiencia del uso de urea-N en un 18 %.

Debido al rendimiento relativamente elevado de las parcelas sin nitrógeno en estos ensayos, la eficiencia aparente de uso de N fue baja. Esta manera cruda de calcular la eficiencia de uso de N depende fuertemente del rendimiento obtenido en los tratamientos sin N, factor que puede causar errores significantes. Sin embargo, los resultados muestran que es factible mejorar la eficiencia de uso de N aplicado cambiando el método de aplicación.

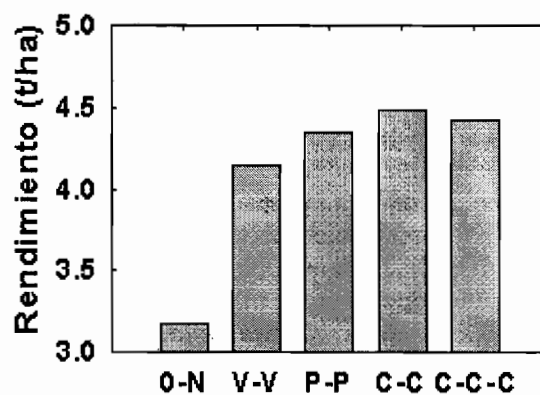


Figura 2. Relación entre el rendimiento de grano (t/ha) y los tratamientos de aplicación de N-urea.

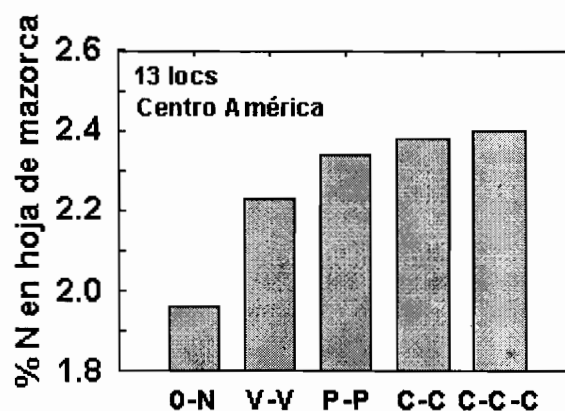


Figura 3. Relación entre el %N en la hoja de la mazorca a la floración y los tratamientos de aplicación de N-urea.

Cuadro 3. Medias de rendimiento y sus componentes, clorofila y %N en la hoja de la mazorca a la floración para tratamientos de métodos de aplicación de N a través de 13 localidades de Centro América.

Tratamientos	pl/m ²	mz/m ²	mz/pl	peso mz (g)	rend (t/ha)	% N
1= 100 N v-v	4.41	4.14	0.95	99.6	4.14	2.23
2= 100 N p-p	4.48	4.32	0.96	101.3	4.35	2.34
3= 100 N ch-ch	4.57	4.38	0.96	102.7	4.49	2.38
4= 100 N ch-ch-ch	4.48	4.29	0.96	102.9	4.42	2.40
5= 0 N	4.38	4.00	0.92	77.3	3.17	1.96
Promedio	4.47	4.23	0.95	96.7	4.11	2.26
CM tratamiento	0.25&	0.99***	0.01ns	5689***	13.9***	1.01***
CM Trt x Loc	0.13ns	0.18ns	0.01ns	181 ns	0.4ns	0.06ns
CM Error	0.10	0.16	0.01	171	0.4	0.05

ns, &, *, ** y *** se refieren a P>0.10 y P<0.10, 0.05, 0.01 y 0.001 respectivamente.

Cuadro 4. Diferencias de rendimiento entre mejor y peor método de aplicación de urea (Trt 3 y Trt 1) y respuesta de estos a aplicación de 100 kg N/ha en comparación a un testigo absoluto (Trt 5), y estimaciones de la eficiencia de uso del fertilizante a través de 13 localidades de Centro América.

Localidad	Media t/ha	Efecto método Dif. Tr3-Tr1 t/ha	Respuesta a 100 kg N			
			Chuzo 0 N UR t/ha	Efic. %	Voleo 0 N UR t/ha	Efic. %
Los Santos	4.08*	0.49ns	0.93*	31	0.47ns	13
La Pasera	5.91**	0.03ns	1.16***	39	1.13***	32
Las Tablas	2.79*	-0.07ns	1.27*	42	1.35*	38
Cuyuta	6.18***	1.17*	3.02***	98	1.86**	52
La Máquina	1.16*	0.55&	1.07**	36	0.52&	15
Cuyamapa	2.62ns	-0.03ns	0.93ns	31	0.96ns	27
Chitré	5.38ns	0.64ns	0.47ns	16	-0.18ns	-5
Parita	3.53ns	0.45ns	1.31*	44	0.87ns	25
Guararé	2.31*	0.63ns	1.99**	66	1.36**	38
La Enea	3.71**	-0.2ns	0.80**	27	1.0**	28
Jutiapa	6.59*	0.14ns	1.69**	56	1.55**	44
Cortés	5.20ns	0.44ns	1.38&	46	0.94ns	27
San Andrés	4.93ns	0.74ns	1.43*	48	0.68ns	19
Media	4.18***	0.38***	1.34***	45	0.96***	27
Desv. Est.	1.74	0.48	0.86		0.56	

ns, &, *, ** y *** se refieren a P>0.10 y P<0.10, 0.05, 0.01 y 0.001 respectivamente.

Relación entre Clorofila, N y Productividad

Se encontró una regresión lineal fuerte y significativa entre ambos ($\%N=0.048 \times \text{CHL}$ $r^2=0.99$). Esta relación puede usarse para transformar datos obtenidos con el clorofilómetro a unidades de contenido de N en otras localidades.

La relación entre mediciones de clorofila y N en la hoja de la mazorca a la floración y el rendimiento final se muestra en la Figura 4 (a,b). Los resultados confirman la importancia del N en la elaboración del rendimiento final. Entre los tratamientos, las diferencias en el contenido de N en la hoja se detectaron con más precisión que las diferencias en rendimiento.

A través de todos los ambientes se detectó una relación positiva altamente significativa entre el porcentaje de N en la hoja de la mazorca a la floración y el rendimiento final ($r^2 = 0.75^{**}$). Estos resultados sugieren que el porcentaje de N en la hoja de la mazorca a la floración tiene un valor altamente predictivo del rendimiento final. Datos similares fueron obtenidos por Gordón *et. al* (1993) en estudios sobre la respuesta del maíz a la rotación con leguminosas de cobertura.

Posible Impacto Económico

Si los productores de maíz usaran métodos más eficientes de aplicación de N-urea que resultasen en un aumento en la eficiencia del 25 al 40% (15% de mejoría), una aplicación promedio de 50 kg N/ha, y un

valor promedio de U\$ 0.50 por kg N-urea, esto significaría un ahorro en fertilizante de U\$ 4/ha, para obtener los mismos rendimientos. Una extrapolación a las 2 millones de hectáreas que se siembran anualmente en Centro América, pudiese significar un ahorro de U\$ 8 millones anuales en N-urea. Otra manera de estimar el efecto económico, es evaluar el grano adicional que se produjera por una mejor eficiencia de N. Asumiendo, 50 kg N/ha aplicados, 15 kg grano adicionales producidos por kg adicional de N absorbido, y una mejoría de 15% en la eficiencia de uso de N-urea, significaría aproximadamente una producción extra de 112 kg grano/ha, a U\$ 1.5/kg, para U\$34 millones anuales

CONCLUSIONES

1. Se compararon métodos de aplicación de voleo, por postura e incorporado, sin detectarse diferencias significativas entre estos. El efecto de los tratamientos fue pequeño pero consistente ante la variabilidad experimental de los ensayos.
2. El mejor método fue la aplicación de N-urea en dos fraccionamientos chuzeados (Trt3). El peor método fue el voleo en dos fraccionamientos (Trt1). La aplicación por posturas (Trt2) fue ligeramente superior al voleo.
3. La diferencia en rendimiento entre mejor/peor o Trt3-Trt1 fue en promedio de 0.38 t/ha (± 0.48) de grano de maíz. Para un agricultor, el trabajo extra asociado con la incorporación del fertilizante deberá ser compensado con la producción adicional de 0.38 t/ha extra de maíz.

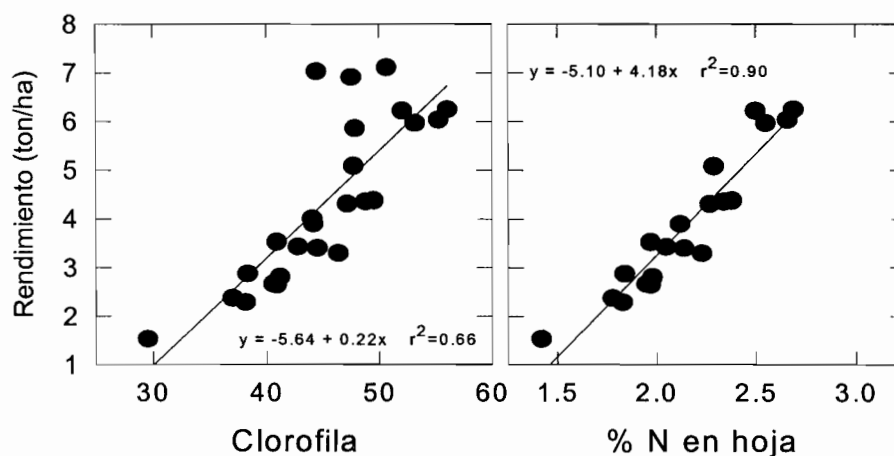


Figura 4. Relación entre mediciones del clorofilómetro (SPAD502-Minolta) y el contenido de N (%) en la hoja de la mazorca a la floración con el rendimiento final a través varias localidades en Centro América.

4. Las lecturas del clorofilómetro se encontraron altamente correlacionadas con %N en la hoja de la mazorca a la floración, estableciéndose la siguiente relación: $\%N=0.048 \times CHL$ ($r^2=0.99$).

5. La ganancia en rendimiento a 100 kg de N aplicado fue de 0.96 (± 0.56) y 1.34 (± 0.86) t/ha para voleo e incorporado, respectivamente, equivalentes a eficiencias aparentes de uso de N de 27 y 45%, respectivamente. El análisis indica un aumento de 18% en la eficiencia de uso debido a la incorporación del fertilizante versus el voleo.

6. Las ganancias en rendimiento fueron acompañadas por cambios en el contenido de clorofila y N en el follaje del cultivo. Se detectó una relación fuerte y significativa entre el rendimiento y el contenido de N en el follaje. A pesar que no se lograron detectar diferencias en rendimiento entre los métodos de aplicación, las mediciones del clorofilómetro y el % N del follaje si

detectaron diferencias entre el tratamiento de una manera significativa.

7. Estos datos sugieren que el clorofilómetro se puede usar para detectar efectos en la economía de N del cultivo en etapas tempranas durante el ciclo vegetativo.

REFERENCIAS

FAO (1992). Fertilizer Use by Crop. IFA/IFDC/FAO, Rome, Italy.

Gordón, R., J. Franco, N. de Gracia, L. Martínez, A. González, A. de Herrera y J. Bolaños (1993) Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con canavalia y mucuna bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1992-93. pp 106-110 en J. Bolaños et al. (Eds), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.

Productividad con Conservación: Estrategias para la Producción Sostenible de Maíz en Centro América

Jorge Bolaños¹

RESUMEN¹

Este trabajo presenta las estrategias agronómicas impulsadas por el PRM y los resultados experimentales más sobresalientes de los distintos proyectos de investigación de la red. La estrategia agronómica se basa en el uso de germoplasma con buen comportamiento, semilla de buena calidad, siembra a densidad apropiada, así como el uso de rastrojos como mantillo bajo labranza de conservación en laderas, la inserción en asocio simultáneo, relevo y/o rotación de leguminosas de cobertura, así como el uso de modestos niveles de fertilización química.

En la región de Centro América y el Caribe, se siembran cerca de 2 millones de hectáreas de maíz. El maíz es el cultivo de subsistencia más importante para los pequeños productores de escasos recursos. Cerca del 60 a 70% se siembra en monocultivo y el resto en asocio con otros cultivos como frijol, sorgo, ajonjolí, etc. La mayoría (cerca del 70%) se siembra en mayo-junio (primera) con el establecimiento de las lluvias, y el resto durante septiembre-octubre (postrera). Se estima que más del 60% del maíz se siembra en suelos de ladera, de baja fertilidad, con alto potencial de erosión y en sistemas agrícolas típicos de subsistencia con bajos insumos. En general, estos sistemas solamente tienen un buen potencial de rendimiento los primeros pocos años después de la limpia de la vegetación nativa, declinando rápidamente en pocos años con el uso de la tierra. Debido a la fuerte presión demográfica en la región, se espera que la cantidad de maíz cultivada en suelos marginales se incremente considerablemente en los próximos años.

Los rendimientos de grano promedios de estos sistemas de subsistencia son inferiores a las 1.5 t/ha de grano y 3.0-4.0 t/ha de rastrojos. Los agricultores usan variedades criollas de maíz, baja densidad de población (10-15 mil posturas por hectárea), mal arreglo espacial

(3-4 plantas por postura), siembra manual, poco o no fertilizante, poco o ningún insumo químico, control de malezas inadecuado, y pérdidas considerables de grano en condiciones postcosecha. La mayoría se destina al auto-consumo, una familia subsistiendo con una tonelada de grano por año. El rastrojo vegetal es sobre-pastoreado en la temporada seca o quemado antes de la siembra en la limpia del terreno. Los suelos quedan descubiertos gran parte del año, y sufren severas degradaciones físicas y químicas así como una erosión acelerada.

Cerca del 25% del maíz en la región se siembra en parcelas de tamaño intermedio (10-50 ha) con tecnologías intermedias: semilla mejorada (variedades o híbridos) con tratamiento químico, siembra en surcos con tracción animal o mecánica, densidad de siembra alta (50 mil pl/ha), control de malezas (herbicidas, cultivo), niveles intermedios de fertilizante (60-100 kg N/ha, >20 kg P/ha), e insumos químicos para el control de enfermedades y plagas. Los rendimientos promedios para este tipo de agricultor oscilan entre 2.0-2.5 t/ha. El 10-15% del área restante se siembra en parcelas grandes (>50 ha) por agricultores con altos insumos y una visión claramente comercial. El producto se destina a los mercados de alimentos humanos y animales del área. Estos usan semilla híbrida, siembra mecánica, alta densidad de siembra, y niveles altos de insumos. Los rendimientos promedios para estos tipos de agricultor oscilan entre 4.0-4.5 ton/ha (Schmook, 1989; Rodríguez y Miranda, 1990).

El Programa Regional de Maíz (PRM)

El Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe (PRM) ha venido desarrollando estrategias agronómicas que favorezcan la sostenibilidad de los sistemas de producción importantes de la región. El PRM es una red colaborativa de investigación conformada por nueve programas nacionales de investigación de maíz y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (Listman, 1994). Su finalidad es incrementar la productividad sostenible de los diferentes sistemas de producción de maíz al desarrollar y parcialmente validar alternativas tecnológicas con un enfoque de agricultura sostenida (PRM, 1995). Debido a la naturaleza del problema, el

¹ Agrónomo, CIMMYT, Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe (PRM), Guatemala.

reto ha sido proveer alternativas tecnológicas que aumenten la productividad pero manteniendo o mejorando el recurso base (suelo, agua, nutrimentos).

El PRM ha impulsado el uso de germoplasma mejorado con densidades apropiadas, la labranza de conservación, la inserción de leguminosas de cobertura en asocio, relevo y/o rotación con maíz, y el uso eficiente de modestos niveles de fertilización química. Estas estrategias son relativamente fáciles de adoptar en la medida que las ventajas de la práctica sean percibidas por los agricultores. Los objetivos esenciales de la estrategia son:

1. Promover el uso de germoplasma adaptado con buen potencial de rendimiento y tolerancia a los estreses bióticos (achaparramiento, pudrición de mazorca) y abióticos (sequía) prevalentes en la región, con manejo agronómico apropiado: altas densidades de siembra y el uso eficiente de niveles apropiados de insumos químicos para expresar al máximo el potencial productivo del suelo, el agua, y la radiación disponible.
2. Mantener el suelo cubierto con un mantillo vegetal para proteger el suelo contra la erosión y mejorar el balance hídrico logrando la conservación del suelo y agua. Para esto es esencial evitar la quema anual de los rastrojos y el sobre-pastoreo durante la época seca.
3. Insertar leguminosas de cobertura en asocio y/o relevo con el maíz para mantener el suelo cubierto, reducir la competencia por malezas, proveer una fuente de rastrojo y N para el siguiente ciclo y/o pastoreo animal durante la temporada seca, y aprovechar la radiación no usada por el maíz para fijar N atmosférico.

Limitaciones al Rendimiento

Se estima que los rendimientos promedios de maíz de la región de Centro América oscilan de 1.5 a 2.0 t/ha (Schmook, 1989; Rodríguez y Miranda, 1990). Desde el punto de vista agronómico, el rendimiento por unidad de área de un cultivo de maíz depende del número de mazorcas cosechadas por hectárea (mz/ha) y su peso promedio (Bolaños y Barreto, 1991). Dado que una mazorca de maíz puede pesar 100 g, esto significa que en promedio los agricultores solamente cosechan de 15 a 20 mil mz/ha para obtener esos rendimientos promedios. Si la densidad óptima de siembra es de 50 a 60 mil pl/ha, esto significa que

muchas plantas no llegan a producir mazorca o mueren durante el ciclo. La baja densidad de población al momento de la cosecha está claramente asociada a los bajos rendimientos en la región (Rodríguez y Miranda, 1990; Bolaños y Barreto, 1991; Bolaños et al., 1993). Los ensayos regionales del PRM, usando relativamente altos niveles de insumos (la mejor variedad disponible, densidad apropiada de siembra, 100 kg N/ha, > 20 kg P/ha, control de malezas, plagas y enfermedades), producen rendimientos promedios de 3.9 ton/ha a través de 35 ensayos en campos de agricultores (Bolaños y Barreto, 1991). Ensayos de variedades conducidos por la red de mejoramiento en estaciones experimentales también obtienen rendimientos promedios de 4.0-4.5 ton/ha (Urbina, 1993).

Usando datos experimentales de 34 ensayos diversos de agronomía en la región de Centro América localizados en campos de agricultores y estaciones experimentales, Bolaños y Barreto (1991) mostraron la fuerte dependencia del rendimiento con el número de mz/ha cosechadas y el peso promedio de estas independiente de los tratamientos experimentales impuestos. A pesar que no detectaron una relación significativa entre rendimiento y pl/ha directamente, el número de mz/ha estuvo lineal y directamente relacionado con el número de pl/ha (Bolaños y Barreto, 1991). El rendimiento promedio de los 34 ensayos fue 3.73 t/ha, con 43 mil pl/ha y 39 mil mz/ha a la cosecha, y un peso de mazorca de 93 g. La población a la cosecha fue 15% menor que la densidad teórica establecida en los ensayos, aún con tratamientos específicos para mantener la densidad deseada. Turrent (1983), analizando los componentes de rendimiento de 11 campos de maíz de Las Tuxtlas (México) en siembras de secano, concluyó que la variación en rendimiento dependió más de la variación en la población final de plantas y/o mazorcas que del tipo de variedad usada, número de granos por mazorca o peso final de grano. En estos diagnósticos, los rendimientos fueron 1.5 ± 0.9 t/ha, la densidad inicial de siembra fue 44 mil pl/ha, la densidad final fue de 30 mil pl/ha (32% de pérdida) y se cosecharon 27 mil mazorcas de 57 g en promedio.

En parcelas de agricultores de subsistencia, todos los componentes de rendimiento normalmente reflejan problemas. Tomemos un agricultor que cosecha 30,000 plantas por hectárea, 0.75 mazorcas por planta (75 mazorcas de 100 plantas) y mazorcas de peso promedio de 75 g. El rendimiento sería:

$$\text{Rend} = 30,000 \text{ pl/ha} \times 0.75 \text{ mz/pl} \times 75 \text{ g/mz} = 1.7 \text{ t/ha}$$

Este valor se encuentra muy cerca a rendimientos promedios de agricultores típicos de subsistencia, donde las limitaciones son el producto de bajo número de plantas por hectárea, una buena proporción de plantas estériles (sin mazorca), y bajo peso promedio de las mazorcas. Un bajo número de plantas se puede deber a una baja densidad de siembra o a una pérdida de plántulas por estreses, en especial problemas de plagas. Un bajo número de mz/pl (o número de granos por mazorca) se puede deber a estreses durante la floración, y estreses durante el llenado de grano afectan el peso final de grano. Es importante entender como a lo largo del ciclo del cultivo se forman sincrónica y sucesivamente los componentes de rendimiento (Bolaños y Barreto, 1991; Bolaños y Edmeades, 1993), lo cual permite entender de una manera fisiológica las limitaciones al rendimiento.

La Labranza de Conservación para la Conservación de Suelo y Agua:

Una gran proporción del maíz se siembra en suelos de ladera con baja fertilidad, alto potencial de erosión, y bajo condiciones de precipitación errática e insuficiente. Entre las prácticas más nocivas se encuentran la tala indiscriminada de los bosques, el sobre-pastoreo y/o las quemaduras anuales de rastrojos y la falta de protección del suelo durante las lluvias. Una de las prácticas más sencillas para la conservación del suelo es la labranza de conservación, entendida esta como el uso de los residuos vegetales como mantillo superficial. La práctica más importante asociada con la labranza de conservación no radica en el número de operaciones primarias o secundarias de labranza, pero en la cantidad de rastrojo que queda sobre la superficie. En la labranza convencional, sólo entre 0-10% de los rastrojos quedan sobre la superficie. En comparación, entre 65-80% en sistemas mecanizados de labranza cero, y casi el 100% en sistemas de chuzo con labranza cero por pequeños agricultores (Barreto et al., 1988).

Por ejemplo, en Guaymango, El Salvador, el uso de la labranza de conservación en un sistema de maíz-maicillo, con manejo de rastrojos y sin quema, ha sido adoptada y ampliamente difundida entre los agricultores desde hace aproximadamente 15 años en unas 3 mil hectáreas de maíz en una zona de laderas (Calderón et al., 1991; Choto y Saín, 1993; Mercado et al., 1994). En vez de chiapear y quemar los rastrojos en la preparación del terreno, los agricultores adoptaron la no-quema y el mantenimiento del rastrojo del sistema maíz-maicillo como mantillo vegetal cubriendo el suelo. Los agricultores siembran al chuzo encima del rastrojo del

ciclo anterior, sin efectuar quemaduras o remociones del rastrojo. De una siembra en arreglo topológico irregular (mateado) adoptaron la siembra en hileras en curvas de nivel. Las variedades mejoradas e híbridos de maíz sustituyeron a las variedades criollas, y se empezaron a usar modestos niveles de fertilizante (80-100 kg N/ha, 50 kg P/ha). Como consecuencia de estos cambios tecnológicos la productividad del sistema mejoró considerablemente. En 1974, antes de la adopción de las prácticas de conservación, los rendimientos de maíz eran de 1.0 t/ha con 0.7 t/ha de maicillo. Actualmente, los rendimientos promedios se han estabilizado en 3.2 t/ha de maíz y 2.1 t/ha de maicillo (Calderón et al., 1991; Choto y Saín, 1993; Mercado et al., 1994). Con el uso difundido del rastrojo como mantillo vegetal, el suelo ha paulatinamente mejorado su estructura y fertilidad, y ahora permite la explotación sostenible y eficiente de la tierra, a niveles bastante aceptables de productividad.

La efectividad de la práctica de dejar el rastrojo como mantillo sobre el suelo para controlar la erosión y mejorar el balance hídrico se debe parcialmente al tipo de sistema de producción predominante en el área. El sistema maíz-maicillo produce por lo menos 10 t/ha de biomasa como rastrojo. Esta cantidad permite al agricultor pastorear parte del rastrojo durante la época seca dejando todavía suficiente para proteger el suelo contra la erosión. Medidas preliminares tomadas en el área indican que se pastorean cerca de 1.0-2.0 t/ha de rastrojo por mes, lo que permite que permalezca entre 4.0-6.0 t/ha de rastrojo como mantillo al final de la temporada seca en mayo-junio (Calderón et al., 1991; Choto y Saín, 1993). En otros sistemas donde se ha tratado de impulsar la labranza de conservación, la poca biomasa disponible de rastrojo y las necesidades de pastoreo en la época seca, son las principales limitaciones a la adopción de esta práctica. En sistemas de maíz en relevo con frijol, por ejemplo, la producción de biomasa del sistema es mucho menor, ya que el maicillo produce 4-5 veces más biomasa que el frijol, y la biomasa del frijol normalmente se remueve del sistema durante la cosecha (para ser aporreado).

La presencia de un mantillo vegetal altera muchas relaciones (Bolaños, 1988): a) Reduce la insolación, disminuyendo la temperatura y la evaporación superficial del suelo. Esto mantiene temperaturas más apropiadas para el desarrollo de las plántulas, especialmente en épocas de sequía y ayuda a mantener la humedad en el suelo. b) Aumenta la materia orgánica, nutrientes y actividad biológica cerca de la superficie, con una marcada estratificación a través del perfil. Esto crea una mayor proliferación de las raíces del cultivo cerca de la superficie. c) Aisla la superficie del suelo,

creando un microclima muy distinto debajo del mantillo (húmedo, temperatura baja, no insolación, no viento) que minimiza los efectos destructivos del ambiente sobre el suelo. d) Reduce la tasa de escurrimiento y erosión por agua y viento, por lo que aumenta la tasa de infiltración y reduce la erosión. e) Previene la formación de costras superficiales, protegiendo la superficie del suelo del impacto de las lluvias, incrementando la infiltración. f) Sin embargo, el mantillo puede ser hospedero de plagas y enfermedades (tal es el caso de pudrición de mazorcas), puede inmovilizar cantidades importantes de N del fertilizante químico, y plantea problemas de aplicación de fertilizantes al suelo (Barreto et al., 1988).

Todas estas características tienen como consecuencia que los sistemas con mantillo son más eficientes en la captación, disponibilidad y eficiencia de uso del agua por los cultivos, y son la estrategia más práctica para mejorar el balance hídrico en ambientes secos o de precipitación errática. La sequía es una de las limitantes más importantes del maíz que se reportan en la región. Sin embargo, aún en las zonas más secas donde se siembra el maíz, la precipitación excede los 900 mm anuales y existen más de 120 días donde la precipitación excede la demanda evaporativa. Los problemas de sequía ocurren principalmente debido a una precipitación errática (periodos secos de más de 20-30 días), altas pérdidas por escorrentía, y el manejo inadecuado de los suelos. Las estrategias para mejorar la eficiencia de uso de agua son: a) mantener el suelo cubierto con mantillo para aumentar la infiltración, reducir la escorrentía, evitar el encostramiento superficial, reducir pérdidas por evaporación directa del suelo, reducir la erosión; b) sincronizar la fenología del cultivo a periodos de disponibilidad hídrica según patrones de clima (Bolaños, 1988), ya sea usando cultivares de ciclo corto que logren evadir los periodos de sequía prolongado.

Los ensayos regionales del PRM han explorado la respuesta del maíz a distintos niveles de rastrojo como mantillo y su interacción con N (Sosa y Bolaños, 1993; Sosa et al., 1993; Zea y Bolaños, 1997). Los resultados muestran claramente que a dosis altas de N, el rendimiento de grano de maíz aumentó 0.25 y 0.30 t/ha con 10 y 20 t/ha de rastrojo como mantillo (Sosa y Bolaños, 1993). Niveles de 30 t/ha de mantillo mostraron una interacción significativa con el ambiente, con un efecto positivo en el rendimiento en ambientes pobres, pero con una reducción en los ambientes con potencial de rendimiento superior a los 5.0 t/ha de grano. Esta interacción negativa entre niveles de mantillo con N ha sido confirmada en ensayos regionales conducidos en 1992-1994 (Sosa et al., 1993; Zea y Bolaños, 1997). A

través de 42 comparaciones a nivel regional, respuestas positivas en rendimiento de grano se observan solamente a niveles altos de N (100 y 150 kg N/ha). La presencia de un mantillo vegetal (5 o 10 t/ha de mantillo) puede reducir el rendimiento cerca de 50 kg/ha por cada tonelada de mantillo en ambientes pobres en N (50% de reducción) (Sosa et al., 1993). En algunos casos, el uso de rastrojo de maíz como mantillo puede reducir el rendimiento en más de 1.0 t/ha de grano.

Zea y Bolaños (1997) presentan datos adicionales sobre la interacción mantillo x nitrógeno. En promedio, la respuesta del maíz a niveles de rastrojo como mantillo es pequeña en comparación con la respuesta a N. Incluso, el uso de rastrojo de maíz puede reducir sustancialmente el rendimiento en condiciones de baja disponibilidad de N. Estos datos sugieren que la presencia de un mantillo vegetal puede inmovilizar cerca de 50 a 60 kg N/ha. Por tanto, el manejo exitoso de los residuos y rastrojos como mantillo en sistemas de labranza de conservación debe considerar la economía de N del cultivo (Barreto et al., 1988; Zea y Bolaños, 1997).

Leguminosas de Cobertura en Asocio/Relevo/Rotación con Maíz

No cabe duda que el uso de leguminosas de cobertura como abonos verdes tienen un efecto benéfico en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. La leguminosa puede ser asociada en forma intercalada, en relevo y/o en rotación, según los patrones de uso y del sistema predominante. Los beneficios del asocio de cereales con leguminosas incluyen aportación de N por fijación directa, aprovechamiento de la radiación desaprovechada por el cultivo principal para producción de biomasa para abono verde, reducción de la erosión al mantener una mayor cobertura del suelo, reducción en la incidencia de malezas, preservación y mejora en las propiedades físicas y químicas de los suelos y posible reducción de plagas y enfermedades.

Desde 1988 el PRM ha evaluado el asocio, relevo y/o rotación de leguminosas de cobertura (abonos verdes) dentro de los sistemas de producción de maíz. Datos obtenidos en 24 ensayos uniformes durante 1989 y 1990 indicaron una tendencia marcada de las leguminosas de reducir el rendimiento de maíz en comparación con monocultivo cuando estas se establecen simultáneamente con el cultivo (Zea et al., 1991; Zea, 1992; Barreto, 1994). De las leguminosas evaluadas en asocio temprano (0 a 10 días después de la siembra del maíz), *Canavalia ensiformis* presentó

características sobresalientes para su siembra intercalada con maíz debido a su menor competencia con el monocultivo y menor variabilidad en comparación con la mucuna y la vigna (*Stizolobium deerengianum* y *Vigna unguiculata*) bajo las mismas condiciones (Zea et al., 1991; Zea, 1992; Barreto, 1994). Dado su hábito de crecimiento así como sus características morfológicas, la canavalia ha sobresalido para asocio temprano con maíz en forma intercalada y tiene buena reputación para soportar ambientes secos con precipitación errática (Bernal y Jiménez, 1990).

Existen muchas razones teóricas y evidencia experimental que indica que la siembra simultánea de leguminosas con maíz casi siempre reduce el rendimiento de este en comparación al monocultivo. La reducción en rendimiento es mayor mientras mayor sea la competencia impuesta por el asocio. Solamente en la medida que la leguminosa capture radiación, agua y nutrimentos que el cultivo de maíz desperdicia (escurrimiento, lixiviación, drenaje, evaporación directa, malezas, baja población de plantas), redonda entonces el asocio en beneficios netos al sistema. Esta reducción en rendimiento por el asocio simultáneo fue reportada ampliamente en los ensayos regionales del PRM en 1988-1990 (Barreto, 1994).

Sin embargo, el PRM ha documentado alternativas de asocio que minimizan la competencia con el maíz pero mantienen muchos de sus efectos benéficos sobre la cobertura del suelo, el control de malezas y su efecto residual. Ejemplos son la inserción de leguminosas a densidades más bajas para asocio simultáneo (ej, en surcos alternos) o la siembra tardía a surco continuo (2-3 semanas después de la siembra del maíz) (López et al., 1993; Gordón et al., 1993). Ambos ejemplos minimizan los efectos negativos del asocio de competencia sobre el maíz, pero aún producen suficiente efecto benéfico para compensar los costos del establecimiento. Otro ejemplo puede ser la alternativa del doble surco bajo investigación (PRM, 1995), la cual apunta a arreglos topológicos que optimicen la captura de radiación por el asocio en su conjunto, maximizando la producción de maíz y leguminosas.

Para ser rentable, la reducción en el rendimiento del maíz causada por los tratamientos de asocio simultáneo deberá ser compensada por un flujo debido a varios efectos benéficos del asocio: a) una reducción en las labores de control de malezas, b) el valor de la producción de ejote y grano por la leguminosa, c) el valor residual de raíces y residuos como mulch

estimados con el rendimiento de frijol en relevo, d) un incremento paulatino de la productividad a largo plazo por mejoría en las propiedades del suelo. El balance de estos flujos será un factor determinante para la adopción de estas tecnologías por los productores.

No cabe duda que una de las ventajas del asocio más importantes percibidas por los agricultores es sobre el control de malezas. Sin duda, los tratamientos de asocio simultáneo normalmente tienen un enorme efecto positivo sobre el control de malezas, debido a la rápida cobertura del suelo en comparación al monocultivo. Este tipo de asocio simultáneo posiblemente redundaría en beneficios netos en sistemas con una alta presión de malezas, con alta precipitación y/o potencial de rendimiento, donde el maíz normalmente sufre una competencia fuerte por las malezas. Sin embargo, en ambientes limitados por sequía y/o baja fertilidad (típicos de muchos de los ensayos visitados), la alta densidad de la leguminosa en asocio competirá fuertemente con el maíz y redundará posiblemente en reducción del rendimiento.

Otro de los objetivos mencionados del asocio es el uso de los residuos de la leguminosa como mulch para promover la labranza de conservación en siembras de relevo. El manejo del mulch sirve para mantener una cobertura sobre la superficie del suelo, mejorar el balance hídrico y aportar minerales y nutrimentos al suelo para cultivos siguientes. Sin embargo, las leguminosas tienen características que limitan su efectividad como mulch: a) una rápida descomposición bajo condiciones ambientales favorables dado su alto contenido de N (relación C:N baja); b) un alto riesgo de pérdidas de N por volatilización y/o escorrentía ya que la mineralización de los residuos ocurre en la superficie, c) una poca durabilidad relativa de los residuos de leguminosas como mulch. En comparación, los residuos de cereales (bajos en N) pueden durar mucho tiempo (6-8 meses) como mulch con buena cobertura del suelo antes de descomponerse. Otro asunto a considerar es la probabilidad de introducir plagas y pestes importantes al cultivo de frijol en relevo por residuos de leguminosas establecidas en asocio en el ciclo de primera.

El efecto residual del mulch de la leguminosa como fuente de nutrimentos sobre el siguiente cultivo en relevo dependerá de la cantidad de biomasa y su composición química retornada al sistema en comparación con el monocultivo (Zea, 1993). Por ejemplo, en el caso de algunas leguminosas como la vigna (caupí), se puede cosechar y remover del sistema la producción de ejotes, grano, etc., y contabilizar el

valor comercial de estos en el mercado (flujo de beneficio). Sin embargo, la cosecha de este producto comestible significa también una remoción del sistema de biomasa y nutrientes (granos de frijol o caupi tienen 4-5% de N), obviamente reduciendo el efecto residual de este tratamiento. En el caso de la canavalia, donde no se remueve ningún producto comestible y toda la biomasa retorna al sistema, el efecto residual es máximo, pero no aporta ningún beneficio económico inmediato al agricultor. El manejo de estos factores experimentales de manera distinta puede complicar la comparación del efecto residual sobre los cultivos en relevo.

En el Litoral Atlántico de Honduras se ha difundido desde hace más de 20 años el uso del frijol de abono o mucuna (Saín et al., 1993; Buckles et al., 1994a,b). Esta es una zona tropical de alta precipitación pluvial y los agricultores siembran maíz durante la época de postrera (septiembre-octubre) para cosecharlo durante los meses más secos de marzo-abril. El frijol de abono lo siembran en febrero-marzo con la doble del maíz, durante la época de llenado de grano del maíz. Al cosechar el maíz, la mucuna se establece totalmente y cubre totalmente el terreno desde mayo a septiembre, aprovechando la época lluviosa. En estos 6-8 meses de guamil, la mucuna puede producir cerca de 10-15 ton/ha de biomasa (contenido de 200-300 kg N/ha). No toda esa cantidad de N en la mucuna es fijada de la atmósfera, pero sí una parte importante, y los nutrientes que contiene esa biomasa retornan al sistema con la mineralización del residuo de la leguminosa cuando seca y muerta (Triomphe, 1997).

Las ventajas que los agricultores perciben en el uso del frijol de abono son un aumento de la fertilidad del suelo, el control de las malezas, la reducción de la erosión, y el aumento de la humedad. Las desventajas más importantes son la pérdida del uso de la tierra para fines comerciales cuando está en descanso con frijol de abono, y la posibilidad de derrumbes en las laderas (Saín et al., 1993; Buckles et al., 1994a,b). Al sembrar leguminosas en asocio y/o relevo con sistemas de maíz, el agricultor aprovecha la radiación no usada por el cultivo principal (maíz) para producir biomasa fijando N directamente de la atmósfera que retornará al sistema agrícola con el uso como abono verde.

El Costo en Nutrientes de la Productividad

El maíz necesita adquirir nutrientes del suelo para sostener la productividad. Por ejemplo, el nitrógeno (N) es normalmente el elemento más

limitante a la productividad en muchos suelos. El fósforo (P) es también otro elemento limitante. Muchos de los suelos de la región tienen contenidos de potasio (K) altos, y los cultivos normalmente no responden a aplicaciones de este elemento. El contenido de N en la planta de maíz decrece casi linealmente a medida que la planta madura (acumula unidades de calor). Para una plántula recién germinada, el contenido de N puede ser cerca al 5% de la materia seca total, este valor decrece alrededor del 2.5% a la floración. Por consiguiente, un cultivo de maíz con 6.0 ton/ha de materia seca a la floración contiene cerca de 150 kg N/ha. Sin esta cantidad de N en el suelo (ya sea por mineralización nativa, adiciones en la lluvia, adiciones de materia orgánica, o adiciones de fertilizante) no será posible sostener esa producción de materia seca.

El grano de maíz tiene un contenido de N alrededor de 1.5%, y el rastrojo alrededor de 1.2%. Si un agricultor cosecha 5 ton/ha de grano de maíz, este grano contiene cerca de 75 kg N/ha, y el agricultor remueve esta cantidad de N del sistema irreversiblemente. Desde el punto de vista de la sostenibilidad del sistema, es necesario retornarle al sistema por lo menos la misma cantidad. Si al producir este grano, produce además otros 6 ton/ha de rastrojo, necesitó otros 72 kg N/ha. Al quemar el rastrojo, la mayoría del N se volatiliza en forma gaseosa, y se pierde del sistema con un costo relativamente importante. O sea, el cultivo necesita consumir cerca de 150 kg N/ha para alcanzar esa productividad. Si el suelo no es capaz de mineralizar esta cantidad de N a la velocidad que la planta lo necesita, es necesario entonces aplicarlo en forma de fertilizante químico o como adiciones de materia orgánica que contenga suficiente N. Consideraciones similares se pueden hacer con los otros nutrientes, por ejemplo, el grano de maíz contiene cerca de 0.2-0.3% de P. Follaje verde, recién expandido, joven, tiene contenidos de N alrededor del 3%. Si asumimos una densidad específica del follaje del maíz de 6.0 mg/cm² (1 ha de follaje pesa aproximadamente 600 kg materia seca), esto significa que cada índice de área foliar (*leaf area index*) o cada hectárea de follaje cuesta cerca de 20 kg N/ha. Ya que el maíz tiene un índice de área foliar óptimo cerca de 4 a 5, esto significa un costo en N de 80-100 kg N/ha para interceptar la radiación.

Diversos estudios indican que la eficiencia de uso de los fertilizantes es baja en los sistemas de producción de maíz de la región (Larios et al., 1997). Las aplicaciones promedio de N oscilan entre 80-100 kg/ha en una o dos fraccionamientos, normalmente con urea o sulfato de amonía. Una gran proporción de los

pequeños agricultores aplican el fertilizante a la superficie del suelo al voleo o por posturas. Esta forma superficial de aplicación de fuentes de N amoniacas pueden conducir a pérdidas considerables por volatilización directa o por escorrentía, y así contribuir a la baja eficiencia de uso.

Larios et al. (1997) compararon diferentes métodos de aplicación de N-urea (voleo, posturas, incorporado) detectando una mejoría consistente, pero pequeña, en la eficiencia de uso del N con la incorporación del N al suelo y su fraccionamiento. La ganancia en rendimiento por método fue 0.4 t/ha, la cual deberá compensar los costos adicionales de la aplicación de N. Sin embargo, estos autores reportaron una relación fuerte y significativa entre mediciones de N en la hoja de la mazorca a la floración (estimados con un clorofilómetro) con el rendimiento final a través de 19 localidades, confirmando la importancia del N en la elaboración del rendimiento final.

NOTA: Versiones preliminares de este trabajo fue publicada anteriormente en: G. Sáin et al. (Eds), Taller de Productividad y Conservación de los Recursos en la Agricultura de Laderas, CIMMYT-IICA-INCAE-CENTA, San José, pp. 47-58; y en R. Radulovich y B. Miranda (Eds), Seminario-Taller Sistemas Agrosilvopecuarios para Agricultores de Laderas en la Zona del Golfo de Fonseca de Honduras, Nicaragua y El Salvador, IICA-CRS, San Salvador, pp. 201-216.

REFERENCIAS

- Barreto, H. (1994) Evaluación y utilización de diferentes mantillos y cultivos de cobertura en la producción de maíz en Centroamérica. pp 167-177 en D. Thurston et al. (Eds) Tapado: Los Sistemas de Siembra con Cobertura. CIIFAD-CATIE, Cornell Univ, New York.
- Barreto, H., A. Violic y R. Raab (1988) Labranza de Conservación en Maíz. CIMMYT/Prociandino, El Batán, México.
- Bolaños, J. (1988) Suelos en relación a la labranza de conservación: Aspectos físicos. pp. 19-42 en H. Barreto et al. (Eds) Labranza de Conservación en Maíz. CIMMYT/Prociandino, El Batán, México.
- Bolaños, J. y H. Barreto (1991) Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz. pp 9-26 en Análisis de Ensayos Regionales de Agronomía, 1990. CIMMYT, Guatemala.
- Bolaños, J. y G.O. Edmeades (1993) La fenología del maíz. pp 251-260 en J.Bolaños et al. (Eds), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- Bolaños, J., J. Pérez, J.L. Zea, J.L. Quemé, M. Fuentes, C. Mendoza y G. López (1993) Dinámica y variabilidad de los componentes de rendimiento en 28 campos de maíz en Centro América. pp 187-197 en J.Bolaños et al. (Eds), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- Bernal H. y L.C. Jimenez (1990) Haba Criolla: Canavalia ensiformis. Secab, Colombia.
- Buckles, D., I. Ponce, G. Sáin y G. Medina (1994a) Tierra cobarde se vuelve valiente: uso y difusión del frijol de abono (*Mucuna deeringianum*) en laderas del Litoral Atlántico de Honduras. pp 277-290 en D. Thurston et al. (Eds) Tapado: Los Sistemas de Siembra con Cobertura. CIIFAD-CATIE, Cornell Univ, New York.
- Buckles, D., I. Ponce, G. Sáin y G. Medina (1994b) Uso y difusión del frijol de abono (*Mucuna deeringianum*) en las laderas del Litoral Atlántico de Honduras. Agron. Mesoamericana 5:15:29.
- Calderón, F., H. Sosa, V. Mendoza, G. Sáin y H. Barreto (1991) Adopción y difusión de labranza de conservación en Metalío-Guaymango, El Salvador: Aspectos institucionales y reflexiones técnicas. pp 189-210 en CIAT-IICA-CATIE-CIMMYT, Agricultura Sostenible en las Laderas Centro Americanas, Oportunidades de Colaboración Interinstitucional. IICA, San José.
- Choto, C. y G. Sáin (1993) Análisis del mercado de rastrojo y sus implicaciones para la adopción de la labranza de conservación en El Salvador. pp 212-222 en J.Bolaños et al. (Eds), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- Gordón, R., N. de Gracia, J. Franco, A. González y J. Bolaños (1993) Asocio del maíz con canavalia a distintas épocas y arreglos de siembra en Azuero, Panamá, 1992-1993. pp 102-105 en J. Bolaños et al. (Eds), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- Gordón, R., J. Franco, N. de Gracia, L. Martínez, A. González, A. de Herrera y J. Bolaños (1993) Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con canavalia y mucuna bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1992-93. pp 106-110 en J. Bolaños et al. (Eds), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- Larios, L., R. Gordón, R. Obando, M. Osorio, G. López y J. Bolaños. (1997). Eficiencia de uso de N en el cultivo de maíz bajo distintos métodos de aplicación. P. 164-169 en J. Bolaños (Ed.) Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1993-1995, Vol. 5, CIMMYT-PRM, Guatemala.

- Listman, M. (1994) Seed, soil and science: networking for sustainable maize farming in Central America. CIMMYT, El Batán, Mexico.
- López, G., J.L. Zea, M. Fuentes, J. Pérez, R. Gordón, C. Mendoza y J. Bolaños (1993) Respuesta del maíz a la siembra intercalada con canavalia a distintas épocas y densidades. pp 97-101 en J. Bolaños et al. (Eds), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- Mercado J., F. Calderón y H. Sosa (1994) Sistemas de siembra con cobertura: la labranza de conservación sin quema, alternativa para la sostenibilidad agrícola en El Salvador. pp 45-56 en D. Thurston et al. (Eds) Tapado: Los Sistemas de Siembra con Cobertura. CIIFAD-CATIE, Cornell Univ, New York.
- Programa Regional de Maíz (1995) Plan Operativo Anual, CIMMYT-PRM, Guatemala.
- Rodríguez, R. y B. Miranda (1990) Síntesis sobre producción, consumo, generación y transferencia de tecnología para los granos en el istmo de Centro América. PRIAG-IICA, San José.
- Saín, G., I. Ponce y E. Borbón (1993) Rentabilidad del sistema de abonera en el Litoral Atlántico de Honduras. pp 146-156 en J. Bolaños et al. (Eds), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- Schmook, W. (1989) Los perfiles de maíz de Centro América. CIMMYT, Guatemala.
- Sosa, H. y J. Bolaños (1993) Respuesta del maíz-maicillo y maíz-frijol a distintos niveles de mantillo bajo labranza de conservación. p. 114-118 en J. Bolaños et al. (Eds), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- Sosa, H., J. Pérez, J.L. Zea, M. Fuentes, G. López y J. Bolaños (1993) Respuesta diferencial del maíz a la labranza de conservación a distintas dosis de N. pp 119-123 en J. Bolaños et al. (Eds), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- Triomphe, B. (1997). Agroecología del sistema de aboneras en el Litoral Atlántico de Honduras. pp 319-328 en J. Bolaños (Ed.) Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1993-1995, Vol. 5, CIMMYT-PRM, Guatemala.
- Turrent, A. (1983) El rendimiento de maíz en Las Tuxtlas, México. Citado por V. Beavoul (1992), Diagnóstico agronómico y experimentación en las condiciones de producción campesinas. Memoria del Seminario-Taller de Salamá, Guatemala. SAR No. 1992/26, del 25 de Mayo al 5 de Junio de 1992.
- Urbina, R. (1993) Evaluación de híbridos de grano blanco y amarillo de maíz (*Zea mays* L.) en ambientes de Centro América y México. pp 27-39 en J. Bolaños et al. (Eds), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- Zea, J.L., H. Barreto, G. Saín, J. Bolaños y W. Raun (1991) Efecto de intercalar leguminosas a diferentes dosis de fósforo sobre el rendimiento de maíz, *Zea mays* L., en 24 ensayos a través de Centro América. pp 27-42, en Análisis de los Ensayos Regionales de Agronomía de 1990, CIMMYT, Guatemala.
- Zea, J.L. (1992) Efecto de intercalar leguminosas con diferentes dosis de fósforo sobre el rendimiento del maíz *Zea mays* L. en Centroamérica. Agron. Mesoamericana 3:16-22.
- Zea, J.L. (1993) Efecto residual de intercalar leguminosas sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L) en nueve localidades de Centro América. Agron. Mesoamericana 4:18-22.
- Zea, J. L. y J. Bolaños. (1997). El uso de rastrojo de maíz como mantillo superficial y sus implicaciones en la economía del nitrógeno. pp. 154-158 en J. Bolaños (Ed.) Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1993-1995, Vol. 5, CIMMYT-PRM, Guatemala.



**ESTUDIOS DE DIAGNOSTICO,
ADOPCION E IMPACTO**



Tecnologías para Conservación y Productividad: Sustitutas o Complementarias?

Gustavo Sain¹

RESUMEN

El aumento de la productividad y la conservación de los recursos se anuncian como objetivos deseables de la investigación agrícola pero frecuentemente se los presenta como sustitutos. Alcanzar uno se debe hacer necesariamente a costa de sacrificar el otro. En este trabajo se presenta la idea de que ambos objetivos pueden ser complementarios entre sí a través de la generación y transferencia de tecnologías que simultáneamente aumenten la productividad y conserven los recursos naturales (APCORE). Esta idea se ilustra con el caso del desarrollo y adopción de la labranza de conservación con manejo de residuos. Finalmente se presentan algunas características de costos y beneficios de tecnologías que se encuentran desarrolladas o en etapas avanzadas de desarrollo en la región.

Para lograr una agricultura sostenible se debe afrontar un conjunto complejo de procesos interrelacionados. En el largo plazo, el desarrollo económico y el aumento de ingresos proporcionará la base para incrementar las inversiones en la conservación de recursos. Sin embargo, dada la situación económica actual en Centroamérica, es probable que en los próximos años se intensifique la presión sobre el uso y deterioro de los recursos naturales de la región.

Las causas del problema del deterioro del medio ambiente son profundas y demasiado complejas como para ser detalladas aquí. Sin embargo, se debe destacar la estrecha relación existente entre el deterioro de los recursos, la pobreza y el crecimiento de la población. De estos tres factores, la pobreza representa un papel central en la determinación de los otros dos. La experiencia histórica ha mostrado que la reducción de los niveles de pobreza contribuye significativamente a disminuir la presión sobre los recursos naturales y la tasa del crecimiento de la población y, por lo tanto, a reducir la presión sobre los recursos naturales. Para

contrarrestar los efectos de estos factores en la investigación agrícola se postulan dos objetivos generales: aumentar la productividad y conservar los recursos naturales. A menudo, sin embargo, estos objetivos se plantean como competitivos entre sí, dando lugar a nuevas tecnologías dirigidas a aumentar la productividad (tecnologías AP) a costa del deterioro de los recursos y, viceversa, nuevas tecnologías dirigidas a conservar los recursos (tecnologías CORE) a costa de disminuir la productividad. De esta manera, cuando se trata de seleccionar tecnologías, se considera que habrá que hacer ciertos sacrificios (*trade-offs*) con respecto a los objetivos de la investigación, dependiendo de los recursos que se deseen conservar.

La importancia creciente de la conservación del medio ambiente ha llevado a que se piense cada vez más en términos de tecnologías que simultáneamente eleven la productividad del sistema y conserven los recursos tales como suelo, agua y nutrientes. A este tipo de tecnologías se las ha denominado tecnologías que aumentan la productividad y conservan los recursos (tecnologías APCORE). Una premisa fundamental que gobierna la generación de este tipo de tecnologías es que los objetivos de aumentar la productividad y conservar la base de recursos no se pueden considerar en forma separada en el sistema de la finca.

CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGIAS

De acuerdo con sus requerimientos o modificaciones al sistema de finca las tecnologías se pueden subdividir en cuatro categorías:

- A. Intensificación y reorganización del uso de los recursos (tierra, mano de obra e insumos) ya existentes en la finca, incluyendo el manejo intensivo de la producción animal y forestal.
- B. Introducción de nuevas variedades o nuevos insumos.
- C. Diversificación del sistema de producción mediante la introducción de nuevas especies vegetales o animales.
- D. Cambios físicos o alguna construcción en la finca.

¹ Economista Regional para Centro América y El Caribe del CIMMYT, Costa Rica

El Cuadro 1 presenta algunos ejemplos de tecnologías desarrolladas para la conservación de los recursos naturales que se usan en la actualidad o que están en proceso de desarrollo; no se trata de una lista completa, pues sólo se incluyen los ejemplos más relevantes. Estas tecnologías abordan problemas relacionados con la conservación de suelos, nutrimentos y humedad, la reducción del uso de productos químicos, la biodiversidad y la conservación forestal.

Una de las características más importantes que los agricultores juzgan de la tecnología en general es el tiempo que transcurre desde el pago de los costos hasta que se perciben los beneficios. Aunque la distribución de los costos y beneficios a través del tiempo varía considerablemente de una tecnología a otra, muchas tecnologías tipo CORE requieren de costos inmediatos y tardan algunos años en producir beneficios. Por el contrario, las tecnologías tipo AP se caracterizan por tener un retorno a la inversión relativamente rápido.

Las tecnologías APCORE combinan los efectos de ambas tecnologías acelerando la obtención de los beneficios (Figura 1).

Cuando se consideran los usos alternativos de las tecnologías dirigidas a aumentar la productividad (AP), estas pueden comportarse simultáneamente como conservadoras de recursos (CORE), y viceversa, dependiendo de las circunstancias. El caso de la difusión de la labranza de conservación en Guaymango, El Salvador, provee un ejemplo de interacción entre ambos tipos de tecnologías. La Figura 2 describe la asignación de una cantidad de recurso, R (rastreo del sistema), entre dos usos competitivos: alimento para el ganado y mantillo para protección del suelo. R_0R_0 representa la curva de transformación del residuo para un nivel inicial de productividad del sistema de cultivo. La pendiente de esta curva se denomina la tasa marginal de sustitución (TMS) entre alimento y mantillo.

Cuadro 1. Características de costos y beneficios de algunas tecnologías de conservación de los recursos naturales.

Tipo de tecnología	Beneficios	Costos					
		CO	E	MO	IE	I	VP
<i>A. Manejo de los recursos existentes</i>							
1. Cambios en manejo o cantidades de fertilizantes químicos	N Q		✓	✓			
2. Cambios en fechas de siembra para el control de plagas o malezas	Q	✓			✓	✓	
3. Labranza de conservación o labranza cero	S, N, H		✓	✓			
4. Manejo integrado de plagas	Q	✓	✓	✓			
5. Manejo intensivo de animales	S, N	✓		✓			
6. Manejo forestal más intensivo	S, N, F	✓					✓
7. Rotación de cultivos y pastizales	S, N, H, Q	✓		✓			✓
8. Cultivos intercalados	S, Q, B						
9. Conservación de germoplasma <i>in situ</i>	B						✓
10. Sistemas de riego que atomizan el agua	S, H				✓		
<i>B. Nuevas variedades o insumos</i>							
1. Variedades resistentes a herbicidas	S, Q				✓	✓	
2. Variedades resistentes a insectos	Q					✓	
3. Plaguicidas y herbicidas menos tóxicos	Q, B					✓	
4. Control biológico de plagas	Q					✓	
5. Variedades tolerantes al estrés hídrico	H					✓	
<i>C. Nuevas especies de plantas</i>							
1. Cultivos de cobertura	S, N, H, Q	✓		✓		✓	✓
2. Cultivos forestales	S, N, H	✓		✓		✓	
3. Cultivos en callejones	S, N	✓		✓		✓	✓
<i>D. Cambio físico o construcción</i>							
1. Contornos, camellones, y terrazas	S, N, H	✓		✓			
2. Estructura para captar agua y acequias de infiltración	S, H	✓		✓			

Notas: S = conservación de suelo; N = conservación de nutrimentos; H = conservación de agua en el suelo, Q = reducción de productos químicos, B = biodiversidad; F = conservación forestal; CO = Conocimientos y Organización; E = Entrenamiento; MO = Mano de Obra; IE = Insumos externos; I = Investigación; VP = Valor de la Producción.

Fuente: Tripp y Sain, 1994.

Esta tasa mide el *costo de oportunidad*, en término de alimento para el ganado, de usar una unidad de rastrojo como mantillo². Dependiendo de las circunstancias internas y externas prevalecientes, un agricultor se puede situar en diferentes posiciones a lo largo de esta curva. Por ejemplo, puede usar todo el rastrojo como alimento si los precios son convenientes o, por el contrario, puede usar todo como mantillo si le da una gran importancia a la conservación del suelo. Si S^* representa la cantidad mínima necesaria para un control efectivo de la pérdida de suelo³, entonces un agricultor situado en el punto B estará usando la cantidad de rastrojo OC como mantillo y OA como alimento para el ganado. Dado que la cantidad OC es menor que el mínimo S^* el suelo se estará erosionando.

Una forma de revertir esta situación sería modificar las circunstancias de los agricultores de manera que se corriera a una posición de la curva de transformación situada a la derecha del punto B, de manera que use como mantillo una cantidad de residuo mayor que el mínimo S^* . Sin embargo, este camino es en general difícil en el corto plazo. Podría implicar, por ejemplo, modificar la percepción de los agricultores acerca del valor de la pérdida de suelo.

Una segunda vía de alcanzar el requerimiento mínimo S^* sería una nueva tecnología que eleve la productividad del sistema. Este cambio se ilustra en la Figura 2 como un desplazamiento de la curva de transformación hacia afuera hasta alcanzar la curva R_1R_1 . Aún sin ningún cambio en las circunstancias, los agricultores se moverían a un punto como el D donde el sistema permite cumplir el mínimo requerimiento S^* . De esta manera, una tecnología que aumenta la productividad permite simultáneamente alcanzar un objetivo de conservación del suelo.

En el caso de Guaymango, el equilibrio se logró alcanzar mediante una combinación de tecnologías dirigidas a aumentar la productividad (híbridos, fertilizantes y pesticidas) y otra dirigida a conservar el

suelo (manejo de los rastrojos). De esta manera el paquete combinado se comporta como una tecnología APCORE (Choto y Sain, 1993; Sain y Barreto, 1994).

Sin embargo, existen tecnologías que conllevan el aumento de la productividad del sistema y la conservación de los recursos en si mismas (APCORE) como lo es la inserción de leguminosas de cobertura.

Un ejemplo del doble accionar de este tipo de tecnologías lo provee el sistema de aboneras en el Litoral Atlántico de Honduras (Buckles *et al.*, 1992). La Figura 3 muestra el efecto de introducir la *Mucuna* sobre la productividad del sistema. No solo hay un aumento en la productividad promedio sino que también reduce considerablemente el riesgo.

En general, existen condiciones económicas e institucionales que muchas veces imposibilitan que se alcance un uso racional de los recursos aún cuando los niveles de productividad del sistema se eleven considerablemente. Algunas de estas condiciones son:

- La presencia de distorsiones (impuestos y subsidios) en los mercados de productos e insumos. Por ejemplo, subsidios a los fertilizantes y otros agroquímicos han llevado al abandono de la práctica de la abonera en algunas comunidades de Honduras (Flores, 1993; Matute y Abrego, 1995).
- Fallas de los mercados de algunos insumos y productos. Principalmente por problemas institucionales. Por ejemplo, el pastoreo libre de los rastrojos en algunas áreas de El Salvador lleva al agotamiento del rastrojo dejando al agricultor sin posibilidad de usarlo para proteger el suelo (Sain y Barreto, 1995).
- Fallas (no existencia) de mercados de los recursos naturales.
- Costos de transacción elevados.

Los Costos Relacionados con la Generación y Difusión de Tecnologías de Conservación

Aunque ya existe un acervo importante de conocimientos acerca de las tecnologías que fomentan una agricultura sostenible, con frecuencia los costos de introducirlas en los sistemas son elevados. Algunos de estos costos son cubiertos por el agricultor (mano de obra adicional), mientras que otros probablemente son sufragados por la sociedad en general (más investigación). Sin embargo, en muchos casos, dichos costos se distribuyen de distintas formas.

² La curvatura de la transformación entre alimento para el ganado y mantillo de una cantidad dada de rastrojo corresponde al hecho de que existe una dimensión temporal implícita en la transformación. Por ejemplo, 1kg de rastrojo para alimento hoy se transforma en menos de 1kg de mantillo mañana debido a los efectos de la degradación natural.

³ La cantidad de rastrojo OS^* necesaria para el control efectivo de la erosión es específica para cada sitio y dependerá de circunstancias que usualmente no son controladas por el agricultor, tales como pendiente, cantidad e intensidad de las lluvias y grado de credibilidad del suelo.

La mayor parte de las tecnologías agrícolas tiene que ser adaptada a las condiciones locales, y esto es especialmente cierto en el caso de las tecnologías de conservación. En consecuencia, la investigación a nivel local y la extensión, así como las inversiones en la experimentación realizadas por la comunidad y los agricultores, son un componente importante de los costos de generar estas tecnologías. Una dificultad adicional es que, aunque problemas como la erosión y la deforestación son graves, existe muy poca información que ayude a asignar un valor económico preciso a estos procesos.

Asimismo, resulta difícil atribuir los costos relativos de la degradación de recursos a los distintos sectores de

la sociedad y, por lo tanto, es muy difícil saber cómo se deben repartir los costos de revertir esos procesos.

En el Cuadro 1 se presentan, a modo de ejemplos, las principales clases de costos que suelen surgir en el caso de las tecnologías orientadas a mejorar la productividad y proteger el medio ambiente. El tipo y el monto de estos costos varían dependiendo del tipo de tecnología que se trate. Una tecnología que requiera de un solo tipo importante de costos (por ejemplo, la mano de obra para construir terrazas) no necesariamente tiene mejores probabilidades de ser aceptada que otra que exige varios tipos de costos pero de menor magnitud.

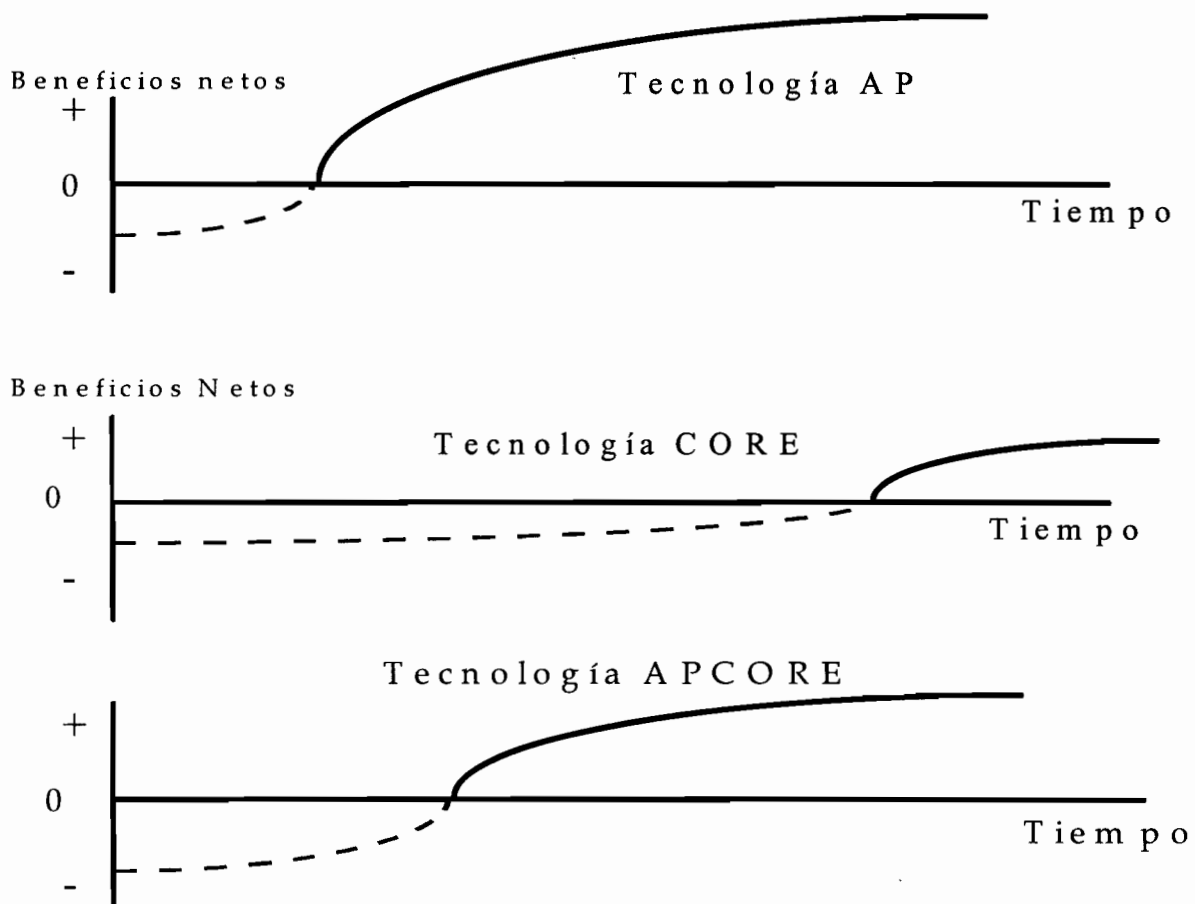
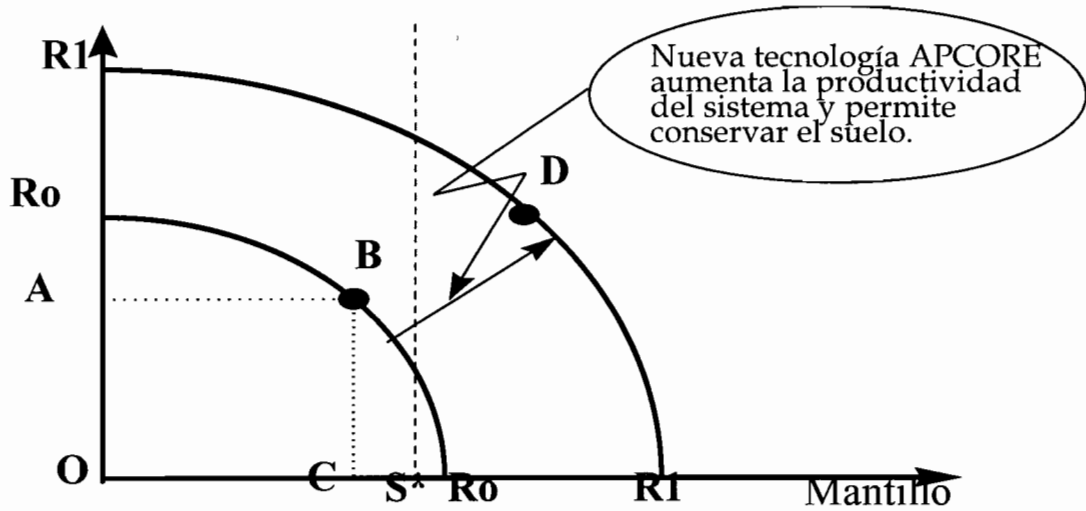


Figura 1. Flujos hipotéticos de beneficios netos de tres tipos de tecnologías.

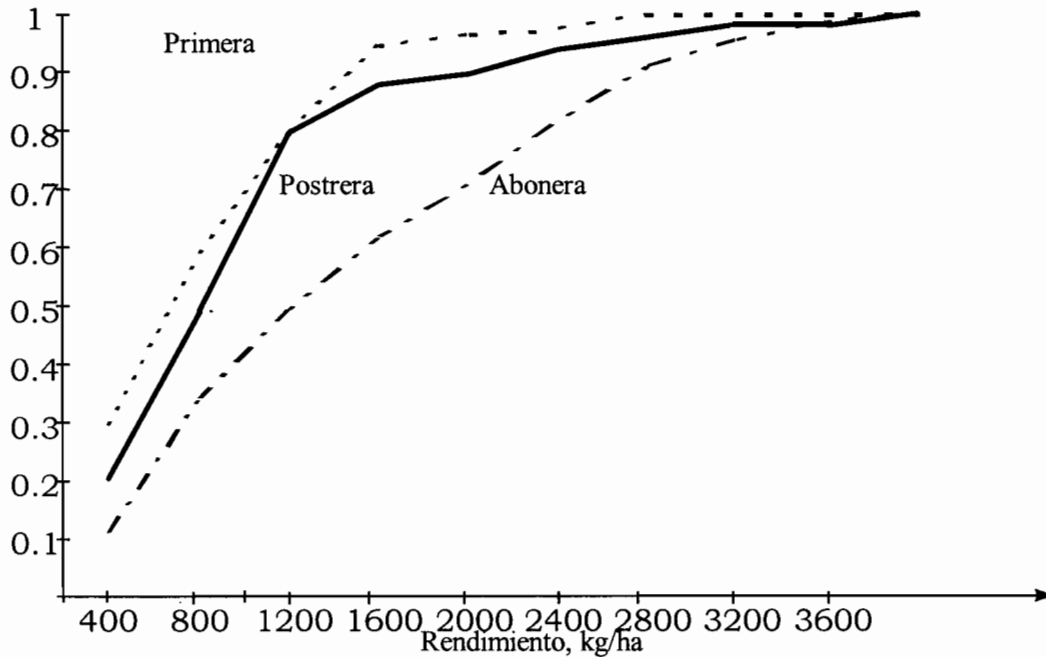
Alimento del ganado



Fuente: Sain y Barreto, 1995.

Figura 2. Productividad del Sistema y Asignación del Rastrojo entre Dos Usos Alternativos.

Probabilidad acumulada



Fuente: Sain y Buckles, 1994.

Figura 3. Distribución acumulada de la probabilidad de los rendimientos de maíz sembrado bajo tres sistemas. Litoral Atlántico de Honduras.

Los costos en que pueden incurrir los agricultores cuando adoptan nuevas tecnologías se pueden subclasificar en seis tipos principales:

1. *Conocimientos y organización.* Algunas tecnologías requieren de bastante esfuerzo por parte del agricultor para combinar sus conocimientos con observaciones intensivas, a fin de adaptarlas a su sistema de finca (como en el caso del manejo de cultivo en callejones). Además, algunas tecnologías requieren que los agricultores se organicen dentro de sus comunidades, especialmente cuando se trata del manejo de un recurso común.
2. *Capacitación.* Para algunas tecnologías es necesario que los agricultores hayan alcanzado cierto nivel en el sistema educativo formal, o que sean adiestrados a través de actividades de extensión pública o privada (por ejemplo, capacitación en el manejo integrado de plagas).
3. *Mano de obra.* Muchas tecnologías de conservación necesitan una inversión adicional en mano de obra; por lo tanto, su viabilidad dependerá de su costo de oportunidad. Este puede variar de una zona a otra y de un país a otro y, en consecuencia, una tecnología que es aceptable en un lugar puede ser menos atractiva en otro.
4. *Insumos.* Pese a la tendencia general a reducir la cantidad de insumos comprados requeridos para las tecnologías de conservación, con algunas es necesario comprar químicos, o alquilar o comprar maquinaria nueva. A veces es necesario importar estos insumos en cantidades suficientes por lo menos al principio (por ejemplo, germoplasma para la implantación de barreras vivas).
5. *Investigación.* Algunas tecnologías requieren de bastante investigación especializada. Es necesario contar con políticas que dirijan estas investigaciones (ya sean públicas o privadas), de manera que se dirijan a los sistemas agrícolas correctos según los objetivos nacionales de desarrollo.
6. *Reducción de la producción.* Dado que ciertas tecnologías modifican la secuencia de cultivos existentes con especies de menor valor económico, es probable que inicialmente hagan disminuir el valor de la producción total (por ejemplo, cuando en una rotación se sustituye un grano por un abono verde).

La Adopción de Nuevas Tecnologías

Algunas razones importantes por las cuales los agricultores no siempre invierten en la adopción de tecnologías destinadas a la conservación de sus recursos son:

- a) En general, cuanto más altos sean los costos iniciales y/o más bajos sean los beneficios inmediatos, y cuanto mayor sea el tiempo transcurrido entre ambos, menor será la probabilidad de que la tecnología sea aceptada, especialmente por agricultores de escasos recursos.
- b) La conveniencia para el productor de la tecnología depende de altas tasas de descuento que predominan especialmente entre los pequeños agricultores. Un horizonte de planificación demasiado corto es un caso especial donde la tasa de descuento es lo suficientemente alta como para que las consecuencias económicas tengan un valor despreciable para el agricultor y su familia.
- c) Aun cuando los beneficios descontados se comparen favorablemente con la inversión requerida, los agricultores podrían no estar dispuestos a invertir en la tecnología a menos que reciban pruebas fehacientes de que producirá beneficios a largo plazo. Es decir que los agricultores exigirán un valor adicional por la incertidumbre que predomina cuando los beneficios son esperados para dentro de 10 o 15 años.
- d) Los agricultores tienen que comparar los beneficios de largo plazo generados por las inversiones en mejoras a los recursos (como el control de erosión), con aquellos producidos por inversiones destinadas a aumentar la productividad a corto plazo, aun cuando éstas pongan los recursos naturales en peligro. Esta comparación es importante en general, pero lo es aún más en el caso de los agricultores más pobres, porque en muchos casos sus recursos son los que corren mayor peligro.
- e) Gran parte de los costos provocados por el deterioro de los recursos no afecta a los productores en forma directa, sino a otros sectores de la sociedad. Como por ejemplo, el caso de la contaminación del agua para consumo humano en las ciudades o la sedimentación de las represas para la generación de energía eléctrica.
- f) La presencia de políticas inefectivas promulgadas sin información precisa sobre las consecuencias económicas y sociales de las distintas maneras de solucionar o aliviar los problemas reales.
- g) La falta de derechos de propiedad bien definidos sobre algunos recursos naturales que en muchos

casos lleva a la sobre-explotación del recurso. Por ejemplo, en aquellos casos donde hay libre acceso al pastoreo de rastrojos o pastos.

Reflexiones Finales

No es razonable esperar que la tecnología por sí sola solucione el problema de la conservación de recursos. En la mayoría de los casos, la adopción de tecnologías de conservación se facilita cuando es apoyada por cambios simultáneos en las políticas económicas e institucionales.

Muchos países han registrado éxitos notables con tecnologías que contribuyen tanto a la conservación de recursos como al incremento de la productividad, tales como la labranza de conservación, el manejo integrado de plagas y la inclusión de leguminosas intercaladas en el sistema de producción. No obstante ello, no hay soluciones mágicas, ya que el desarrollo de todas esas tecnologías requiere de tiempo y recursos considerables que siempre implican un balance entre costos y beneficios.

Las tecnologías destinadas a aumentar la productividad (AP) y aquellas destinadas a conservar los recursos (CORE) pueden comportarse en forma complementaria o competitiva entre sí dependiendo más de circunstancias exógenas que de sus características inherentes. Aunque se debe reconocer que siempre existirán sacrificios, la dicotomía entre ambos tipos de tecnologías es relativa. Si existen condiciones para la generación y difusión de tecnologías que combinen ambos efectos (APCORE), estas deberían gozar de una alta prioridad en aquellas áreas donde la conservación de los recursos y el aumento de productividad son importantes.

Se debe tener en cuenta, además, que existen límites biofísicos relacionados con el sistema agropecuario, los que imponen restricciones a ciertos parámetros de las tecnologías por ser generadas (variación en el potencial de las tierras de cultivo). En general, cuanto más pobre sea el ambiente de producción (por ejemplo, laderas en zonas secas), mayor será el costo de la generación de tecnología y menor será el aumento absoluto de rendimiento que se puede esperar. Así, al establecer las prioridades para la generación de tecnologías, es indispensable considerar las tecnologías específicas que se necesitan en los distintos ambientes e identificar las limitaciones que éstos imponen. Para esto se requiere de una zonificación agroclimática adecuada.

Por último se debe recordar que la generación de tecnología es un proceso continuo en el sentido que no existen respuestas o soluciones que sean definitivas ni perfectas. La introducción de una tecnología destinada a solucionar un determinado problema a menudo provoca nuevos problemas que requieren de otras soluciones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Mario Jauregui, Olaf Erenstein y Héctor Barreto por sus comentarios y sugerencias.

REFERENCIAS

- Buckles D., I. Ponce, G. Sain y G. Medina. 1992. Tierra cobarde se vuelve valiente. Uso y difusión del frijol de abono (*Mucuna Deeringianum*) en las laderas del Litoral Atlántico de Honduras. México D.F. CIMMYT.
- Choto C. y G. Sain. 1993. El mercado de rastrojo y sus implicaciones para la adopción de la labranza de conservación. En: Bolaños, J., G. Sain, R. Urbina y H. Barreto (Editores). Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992. Vol. 4 (1993), CIMMYT-PRM, Guatemala.
- Flores M. 1993. Tienen razón los agricultores de usar el frijol de abono? La contribución de esta especie a la economía de algunos grupos campesinos de la Costa Norte de Honduras. En: D. Buckles (Ed.) Gorras y Sombreros: Caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. México, D.F.: CIMMYT.
- Matute, Reina y R. Abrego. 1995. Análisis de la desadopción del sistema de abonera en Esparta y Arizona del Litoral Atlántico de Honduras. Trabajo presentado en la XLI Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA). Tegucigalpa, Honduras, 26 de Marzo al 1 de Abril de 1995.
- Sain, G. y H. Barreto. 1995. The adoption of soil conservation technology in El Salvador: linking productivity and conservation. *Journal of Soil and Water Conservation* (por publicarse).
- Sain, G. y D. Buckles. 1994. Farm level economic implications of the adoption of the abonera system. Borrador para discusión, Programa de Economía, CIMMYT, México D.F.
- Tripp R. y G. Sain. 1994. Tecnología y conservación de los recursos naturales. En Sain, G. R. Tripp y E. Brenes (Editores) Desafíos presentes y futuros del medio ambiente y la productividad en la agroempresa centroamericana. INCAE, San José, Costa Rica.

¿Labranza de Conservación o Conservación de Residuos? Una Evaluación del Manejo de los Residuos en México¹

Olaf Erenstein¹

RESUMEN

La clave de la labranza de conservación es el uso de los residuos como mantillo. Sin embargo, existe mucha confusión en relación al término labranza de conservación, entre otras cosas por poner demasiado énfasis en la labranza. El laboreo es sólo uno de los factores que afecta la disponibilidad de los residuos en áreas tropicales. Por ende, la conservación de residuos parece un término más apropiado para estos ambientes. En México, la promoción de la labranza de conservación hasta la fecha enfatizó la no-quema y la no-inversión de suelo (el no barbechar). De hecho, estos dos factores son incompatibles con la conservación de suficientes residuos para formar un mantillo efectivo. Sin embargo, hay que destacar que para llevar a cabo la conservación de residuos es necesario ver todos sus usos en conjunto. O sea, no sólo la quema o el barbecho, sino también la extracción productiva, el total de la incorporación y el desgaste, además de la producción de residuos. El conjunto de usos alternativos y la producción se reúne en el balance de residuos y este balance es particular para cada localidad.

La labranza de conservación ha recibido mucha atención en los últimos años en México. Varias agencias, tanto gubernamentales como no gubernamentales, han estado investigando o promoviendo la tecnología a través del país. Toda esta atención favoreció la difusión de la tecnología al poner a los productores en contacto con la tecnología. Sin embargo, también tuvo sus inconvenientes: La gran cantidad de participantes involucrados generó un igual número de interpretaciones de en qué consistía la tecnología. Algunos interpretaban la tecnología simplemente como la no-quema. Otros, como labranza cero o reducida (sin invertir). Sin embargo, la clave de la tecnología consiste en conservar suficientes residuos

como mantillo. En su ausencia, prácticas como la labranza cero pueden ser hasta contraproducentes. Por lo tanto, algunas de las experiencias fallidas fueron erróneamente atribuidas a la labranza de conservación.

¿Donde se originó la confusión? De hecho “un problema clásico relacionado con la labranza de conservación durante los años de su desarrollo ha sido su definición” (Pierce, 1985). La confusión en cuanto a las definiciones se debe en parte a que existen distintas interpretaciones de “*conservación*” (¿conservación de qué? ¿del suelo, del agua, de los residuos?). Otra gran parte de la confusión se relaciona directamente con la palabra “*labranza*”.

De hecho, existen muchos métodos diferentes de labranza (incluyendo una amplia gama de herramientas y prácticas). Además, la presencia de la palabra “labranza” pone mucho énfasis en el laboreo del suelo. Al parecer, esto es lo más adecuado en los sistemas de producción en los Estados Unidos, donde se originó la tecnología. Allí, la incorporación de los residuos a través del laboreo era el principal destino de los residuos por lo que al disminuir el laboreo se quedaban automáticamente más residuos como mantillo. Sin embargo, en los ambientes tropicales la labranza es sólo uno de los varios factores que afectan la disponibilidad de residuos. Es más, en algunos ambientes tropicales no hay ninguna forma de labranza (p.e. sistemas manuales en zonas marginales con siembra de espeque). Por lo tanto, en los sistemas tropicales “*conservación de residuos*” parece un término más apropiado para denominar la tecnología. Esto hace hincapié en el componente crucial de la tecnología y no tanto en un componente parcial.

El presente trabajo da un resumen de las implicaciones de la conservación de los residuos en las sistemas de producción en México. Esta ponencia se limita principalmente a los sistemas de producción de maíz ya que éste es el cultivo más importante en México. Sin embargo, antes de entrar al manejo de los residuos en México presentaremos en mayor detalle el papel de los residuos en la conservación de los suelos (y el agua).

¹ Experto Asociado CIMMYT Grupo de Recursos Naturales, Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F. México. Una versión anterior fue presentada en el 4º Foro Internacional sobre Labranza de Conservación, Mayo 2-4 1996, Guadalajara, Jalisco, México y incluido en las memorias del mismo (compilado por FIRA, Morelia, Michoacán).

EL PAPEL DE LOS RESIDUOS EN LA CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS

Los dos principales procesos de la erosión hídrica son el desprendimiento de partículas del suelo por el salpicamiento de la lluvia y el transporte por escurrimiento superficial. Los elementos primarios para su control son el mantenimiento de cobertura del suelo (para reducir el salpicamiento) y la maximización de la infiltración (para reducir el volumen y, por ende, la velocidad del escurrimiento) (Shaxson et al. 1989). Los residuos de la cosecha pueden proporcionar ambos elementos si se dejan en cantidades suficientes para formar un mantillo efectivo. Este mantillo es una arma de dos filos, al servir como lámina protectora sobre el suelo y al mismo tiempo, aumentar la infiltración a éste. El mantillo aumenta la infiltración al formar nuevas barreras físicas contra el escurrimiento y al mejorar la estructura física del suelo (y por ende, su permeabilidad). Cuándo el 35% de la superficie del suelo está cubierto con residuos esparcidos de manera uniforme, la erosión por salpicamiento puede reducirse hasta en un 85% (comparado con un suelo desnudo) (Shaxson et al. 1989). La relación entre la erosión relativa por salpicamiento y la cobertura del suelo a bajo nivel aparece en el cuadrante I de la Figura 1.

El cuadrante II de la Figura 1 permite transformar la cobertura requerida a un nivel aproximado de residuos de maíz. Por ejemplo, para obtener una cobertura del 35% se requieren aproximadamente dos toneladas de residuos por ha. Aunque cantidades superiores a las dos toneladas sí incrementan la cobertura, la ganancia en términos de disminución de erosión es relativamente mínima. Por ejemplo, 4 toneladas de residuos darían una cobertura de aproximadamente 60% y una erosión relativa de menos del 5%. Por lo tanto, desde un punto de vista conservador, mayores cantidades de residuos sí conservan mejor al suelo. Sin embargo, desde un punto de vista económico, esa conservación de suelo se vuelve cada vez más cara en términos de las cantidades de residuos requeridas. El nivel de dos toneladas ha quedado establecido como el umbral mínimo para obtener una reducción considerable de la erosión relativa. El punto preciso para satisfacer este umbral es inmediatamente después de la siembra, es decir, después de establecer el cultivo pero antes de que éste genere suficiente cobertura vegetal para proteger el suelo.

La idea de usar los residuos como mantillo se originó con el fin de conservar el suelo. Sin embargo, un aspecto importante de la degradación del suelo es que el daño es acumulativo. El efecto de la

degradación en un año específico puede ser menor e insignificante, pero el efecto puede acumularse a través del tiempo (Lal, 1987). De igual forma, los beneficios al reducir la degradación a través de prácticas de conservación del suelo son acumulativos. Por otro lado, los pequeños productores en ambientes tropicales se enfrentan a carencias y necesidades que requieren satisfacer a corto plazo. Estos productores por lo general no están dispuestos a invertir grandes cantidades en medidas de conservación. Para que las prácticas de conservación del suelo sean viables en estos ambientes, deben representar costos adicionales limitados. Por lo tanto, cabe hacer notar que la conservación de residuos funciona además como una medida de conservación del agua ya que al disminuir las pérdidas de este líquido (menor escurrimiento, mayor infiltración, menor evaporación) aumenta la cantidad de agua disponible para el cultivo. En general, este efecto de conservación del agua es él que se notó primero en términos de un mejor rendimiento al adoptar prácticas de conservación de residuos. Este efecto es más evidente en las zonas que presentan un déficit de agua durante el ciclo de cultivo. Sin embargo, hay que destacar nuevamente que este efecto de conservación del agua depende principalmente de la presencia de los residuos como mantillo. Es decir, la conservación del suelo y el agua está en función de la conservación de los residuos.

El efecto de la conservación del agua puede generar beneficios a corto plazo y así aliviar el costo de conservar los residuos. Sin embargo, este costo de adopción (y por ende, el potencial de la conservación de residuos) depende de varios factores locales que afectan directamente la disponibilidad de los residuos.

A continuación se presentan los factores que influyen en la disponibilidad de residuos en México. Primero, se presenta el lado de la producción de residuos y a continuación los diferentes usos alternativos que se les dan a estos. La Figura 2 presenta esta información gráficamente.

PRODUCCIÓN DE RESIDUOS

La producción agrícola en general se enfoca a la producción de uno o más productos primarios (p.e. grano de maíz). Sin embargo, esta producción del producto primario también genera residuos (p.e. rastrojo de maíz) que, por consiguiente, se pueden considerar derivados de la producción agrícola.

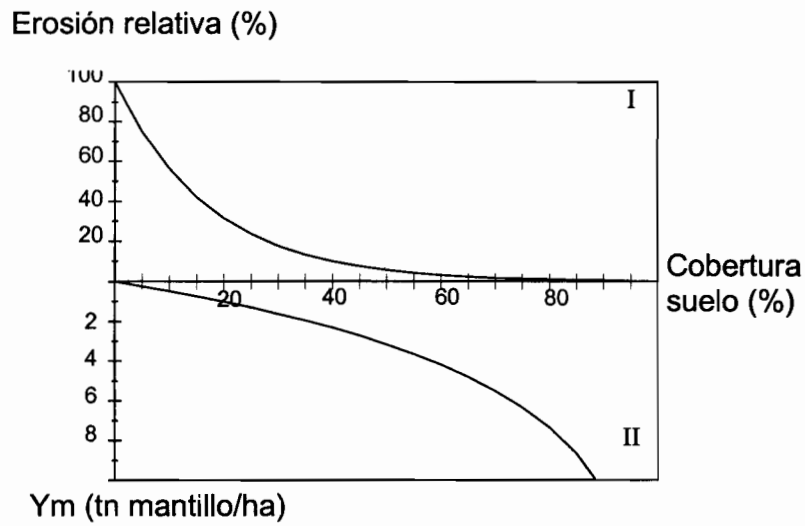


Figura 1. Esquema de dos - cuadrantes con gráficas de la relación de la erosión relativa y la cobertura de suelo en el cuadrante I (Shaxson et al. 1989) y la cobertura de suelo y la cantidad de mantillo [Ym] en el cuadrante II (adaptado de Tripp & Barreto, 1993; y Kok & Thien, 1994).

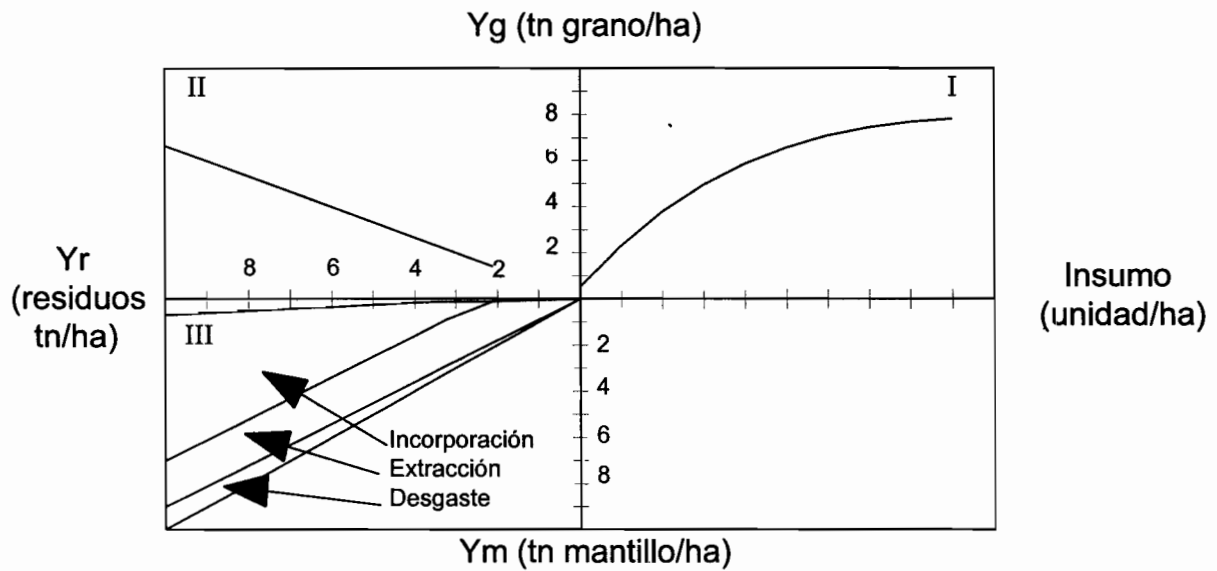


Figura 2. Esquema de tres - cuadrantes con gráficas de la relación del insumo y el rendimiento de grano [Yg] en el cuadrante I; el rendimiento de grano y el rendimiento de residuos [Yr] en el cuadrante II; y el rendimiento de residuos y la cantidad de mantillo [Ym] en el cuadrante III (adaptado de Saín, 1996).

El interés en la producción del producto primario se refleja, entre otras cosas, a través del índice de la cosecha, que expresa la producción del producto primario como una fracción de la biomasa total.

En cereales como el maíz esta relación puede expresarse de la siguiente manera:

$$IC = \frac{Y_g}{(Y_g + Y_r)} \quad (1)$$

donde:

IC: Índice de cosecha (fracción);
 Y_g : Rendimiento del grano (t/ha);
 Y_r : Rendimiento del rastrojo (t/ha).

Reorganizando esta relación se puede calcular la producción de residuos de la siguiente manera:

$$Y_r = \frac{(1 - IC) * Y_g}{IC} \quad (2)$$

Esta relación muestra que la producción de residuos está directamente vinculada con la producción del producto primario. Además, el índice de cosecha para cereales como el maíz es relativamente constante para una variedad dada. Por lo tanto, para cereales como el maíz la producción de residuos es una función lineal de la producción de grano (vea cuadrante II de la Figura 2).

Vale la pena resaltar que el índice de cosecha sí puede variar bastante entre las diferentes variedades de un cultivo. Por ejemplo, una variedad criolla de maíz puede tener un índice de cosecha tan bajo como 30%, mientras que para una variedad mejorada este índice puede alcanzar el 50%. Así, al obtener el mismo rendimiento de grano, la producción de residuos en general será substancialmente más alta para una variedad criolla que para una variedad mejorada.

La relación directa que existe entre la producción de grano y la producción de residuos implica que todos los factores que influyen en la producción de grano también influyen directamente en la producción de residuos. La producción de grano es una función de varios factores, incluyendo factores de naturaleza tanto agroecológica como socioeconómica.

Factores agroecológicos

Los factores ecológicos determinan en primera instancia la producción potencial de biomasa en cada ambiente. El factor primordial en zonas tropicales es la disponibilidad de agua y en segunda instancia, la disponibilidad de los diferentes nutrientes (de macro a micro nutrientes). La disponibilidad de estos factores está directamente relacionada con las características ecológicas del medio ambiente, como la precipitación, la evapotranspiración, el suelo, la temperatura, la altitud, la topografía, etc. Ceteris paribus, la cantidad de biomasa disponible (y por ende, la producción de residuos) es generalmente mucho mayor en el trópico húmedo que en el trópico árido; en el trópico bajo que en el trópico alto; en zonas con buen temporal que en zonas con temporal marginal (corto y/o irregular); etc. Las limitaciones impuestas por el medio ambiente pueden ser modificadas por las prácticas agronómicas. Lógicamente, la disponibilidad del agua no sólo se puede aumentar a través del riego sino también a través de prácticas de conservación del agua o de modificaciones en la época de siembra. Asimismo, no sólo se puede aumentar la disponibilidad de nutrientes a través de la fertilización sino también a través de otros cambios físicos o químicos de los suelos. Ceteris paribus, la cantidad de biomasa disponible (y por ende, la producción de residuos) es generalmente mucho mayor en la agricultura de riego que en la de temporal; en los casos donde se usa fertilizante que con los mineros del suelo; etc.

Sin embargo, las prácticas agronómicas no sólo influyen sobre la disponibilidad de los factores esenciales. El cultivo mismo determina en gran medida la respuesta en términos de producción a la disponibilidad de los factores de producción. En primer lugar, el tipo de cultivo tiene grandes implicaciones. Por ejemplo, un cultivo de cereales (p.e. maíz) produce potencialmente más biomasa que un cultivo de leguminosas (p.e. frijol). En segundo lugar, la variedad del mismo cultivo también influye. Una variedad mejorada de cereal en general responde mejor a los insumos que una variedad criolla. Además, las diferencias entre las variedades se reflejan a través del índice de cosecha (cuadrante II, Figura 2).

Todos los factores agroecológicos en conjunto determinan la forma de la función de producción que aparece en el cuadrante I de la Figura 2.

Factores socioeconómicos

Las prácticas agronómicas alivian algunas de las limitaciones impuestas por el medio ambiente. Sin embargo, el uso de estas prácticas agronómicas se ve afectado directamente por factores socioeconómicos como los de precios de los insumos y de los productos y en especial por la relación entre éstos. El precio relativo del insumo (en relación al producto) determina en gran parte el nivel de su uso². Pero no sólo los precios determinan el uso de los insumos. La orientación de la producción (mercado o autoconsumo) determina en gran medida la influencia de los precios sobre el uso de los insumos. Por otro lado, la disponibilidad de recursos también influye sobre el uso de insumos. Por ejemplo, aunque es económico echar 100 unidades de fertilizante por ha al cultivo, el productor algunas veces sólo puede echar 50 unidades debido a la falta de liquidez.

Los factores socioeconómicos determinan en gran parte donde se ubica el uso de los insumos en el cuadrante I de la Figura 2. Por lo tanto, dado la función de producción, los factores socioeconómicos determinan el nivel de producción correspondiente.

USO ALTERNATIVO DE LOS RESIDUOS

La producción de residuos no se traduce simplemente en su disponibilidad como mantillo. En las zonas tropicales, existen varios usos (o destinos) que se les dan a los residuos y que afectan directamente su disponibilidad como mantillo. Estos usos de los residuos pueden variar en forma considerable entre e, incluso, dentro de las regiones. Los diferentes usos alternativos de los residuos afectan las relaciones en el cuadrante III de la Figura 2. A continuación, presentamos los diferentes usos en mayor detalle. En la sección posterior veremos las implicaciones de estos usos sobre la conservación de los residuos como mantillo.

Extracción productiva

Aunque los residuos de maíz en general se consideran derivados de la producción agrícola, éstos tienen varios usos productivos. El principal es su uso

² Por ejemplo, la reciente devaluación causó una alza de los precios de los insumos en relación a los productos agropecuarios. Cabe de esperar que el uso de los insumos afectados fue substancialmente menor durante el ciclo PV-95 que en los años anteriores.

como forraje, aunque ocasionalmente también se usan como materiales de construcción o como fuente de energía (Choto y Saín, 1993). En lo que se refiere a su uso como forraje se puede distinguir entre el aprovechamiento en la parcela (p.e. a través del pastoreo de la parcela) y la cosecha de los residuos con su aprovechamiento posterior. También existen varias formas de cosechar residuos incluyendo tanto formas manuales como mecánicas (p.e. a través de pacas o el molido de residuos). En general, la cosecha de residuos es bastante exhaustiva, dejando pocos residuos en la parcela. La cosecha de residuos generalmente se efectúa después de la cosecha del producto primario, aunque existen excepciones, como la práctica de despuntar. En esta práctica solo se corta la parte superior de la planta por encima de la mazorca, una vez que el grano llega a la madurez fisiológica.

En México, el uso de residuos de maíz como fuente de forraje en la estación seca es muy común, en especial a través del pastoreo en la parcela. La cantidad de residuos que se aprovecha es variable, aunque en general depende en gran parte de la presión ejercida por el ganado (intensidad y duración) y la existencia de otras fuentes de forraje (p.e. agostadero o cultivos forrajeros). En general, los residuos no son muy nutritivos como alimento animal y son más bien usados por necesidad. Esto es aún más evidente si se compara el uso de residuos en zonas áridas con su uso en las zonas húmedas. En éstas últimas, generalmente existen mejores alternativas de forraje que los residuos, por lo que su uso es limitado. También el hecho de que el pastoreo del ganado sea relativamente selectivo refleja el bajo valor nutritivo de los residuos. En general, el ganado se come primero los elementos frágiles de los residuos (hojas y totomoxtle), dejando los elementos menos frágiles (caña) para el último.

Quema

La quema es una práctica tradicional para eliminar los residuos (comúnmente denominados '*la basura*'). En muchas áreas de México todavía es uno de los primeros pasos en la preparación del terreno para la siembra. Antes del ciclo de cultivo (que en general coincide con los finales de la época seca) se prende fuego a la biomasa seca de la parcela. Esta práctica se originó en los sistemas de roza, tumba y quema para deshacerse de las grandes cantidades de biomasa y aumentar la fertilidad disponible con la ceniza. No obstante, también en sistemas más sedentarios persiste la práctica, aun cuando las cantidades de biomasa ya sean mucho menores. Los productores siguen

quemando por varias razones. La principal razón es limpiar la parcela para facilitar el resto de la preparación del terreno y la siembra. Esto es especialmente el caso en los sistemas manuales o de tracción animal, donde la incorporación de residuos es mínima, lo que subsecuentemente dificulta la siembra. Además, la quema también sirve como control de plagas, enfermedades y malezas. En este respecto, la quema es un método de control de dos filos, ya que afecta directamente a los organismos (individuos o inóculo) y a su hábitat. Este último es particularmente importante en el control de plagas como los roedores.

En general, la quema es muy efectiva para deshacerse de los residuos. Sólo en casos con cantidades limitadas de residuos puede ser menos eficiente si el productor no se toma la molestia de juntarlos.

Incorporación

En los sistemas de labor, la preparación del terreno tradicionalmente implica el laboreo del terreno antes de la siembra. El principal propósito de este laboreo es dejar una cama de siembra limpia y homogénea, que facilite la siembra y el establecimiento del cultivo. Para lograr esto, se mezcla la parte superficial del suelo y se incorporan los residuos presentes en la superficie. En los sistemas mecanizados, la incorporación puede ser substancial aunque la cantidad exacta depende en gran medida de las prácticas de labranza que se utilicen. En especial influyen los implementos usados, el número de pasadas y la profundidad y rapidez de los labores (ACC y CTIC, 1994). En general, los sistemas de tracción animal sí tienen algo de incorporación aunque de menor magnitud que en los sistemas mecanizados. En los sistemas manuales de cero labranza la incorporación es insignificante.

En los sistemas de labor en México es común el uso del barbecho (arado de disco) y la rastra (de discos). El barbecho es especialmente efectivo incorporando los residuos (80-90% según ACC y CTIC, 1994), aunque varias pasadas con la rastra también logran incorporar cantidades substanciales de residuos.

Desgaste

Aun sin darles ningún uso específico, la cantidad de residuos disminuye a través del tiempo debido al proceso de desgaste. Este proceso es más que nada la descomposición de los residuos y es una función del

tiempo³ y varios factores agroecológicos, como la humedad, la temperatura y la actividad biológica en el suelo durante ese periodo. La naturaleza y el estado (fragilidad) de los residuos también son factores importantes que influyen sobre la rapidez/facilidad de la descomposición. Además de los procesos de descomposición, el desgaste también puede incluir elementos de erosión eólica e hídrica de los residuos. Esto puede ser importante en zonas con fuertes pendientes y/o vientos.

En ambientes cálidos y húmedos, el desgaste de los residuos entre los ciclos puede ser substancial. Sin embargo, en muchos ambientes mexicanos el desgaste está relativamente limitado por una combinación de factores. Por un lado, la distribución uni-modal de la precipitación en la mayoría de los ambientes implica un periodo seco largo y pronunciado (de hasta más de medio año). Sin embargo, el desgaste está limitado durante esta época por la falta de agua. Por otro lado, en lugares más húmedos el tiempo entre los ciclos se reduce al tener la posibilidad de un segundo cultivo (p.e. de relevo). Además, el principal cultivo en México es el maíz y los residuos de maíz son poco frágiles relativamente, especialmente si se le cosecha manualmente.

BALANCE DE RESIDUOS

En general, la suma de todos los posibles usos o destinos de los residuos no puede exceder la producción. Aunque teóricamente existe la opción de importar residuos a la parcela para formar un mantillo efectivo, esta opción en general no es viable económicamente a nivel de producción (Lal, 1989). También cabe señalar que estos usos (con excepción del mantillo) son irreversibles, aunque en sí no son mutuamente exclusivos. Por ejemplo, parte de los residuos puede ser utilizada para el pastoreo (extracción productiva) y el resto podría incorporarse durante la preparación de la tierra. Por ende, el balance de residuos se puede formular como:

$$P = U_E + U_Q + U_I + U_D + U_M \quad (3)$$

donde

- P: producción;
- U_E : extracción productiva;
- U_Q : quema;
- U_I : incorporación;
- U_D : desgaste;
- U_M : mantillo.

³ Relevante para la conservación de residuos es el intervalo entre la cosecha y el establecimiento del cultivo subsecuente.

Este balance de residuos es particular de cada lugar porque tanto la producción como sus destinos son determinados por factores locales. Una complicación al determinar el balance de los residuos es que muchos de los destinos no se cosechan o miden habitualmente. Por consiguiente, algunas veces resulta difícil recopilar esta información de forma rápida. Sin embargo, existen varias técnicas que facilitan la medición de las cantidades de residuos. Dos métodos basados en observaciones de campo son el uso de fotografías con cantidades predeterminadas de residuos como referencia (p.e. Tripp y Barreto, 1993) y la metodología de la línea de transecta (p.e. Shelton *et al.*, 1994).

Cabe destacar que el uso de residuos como mantillo siempre será residual. O sea, los otros usos/destinos en general determinan cuantos residuos sobran para su posible uso como mantillo. Anteriormente ya se vio que un mantillo necesita por lo menos 2 toneladas de residuos por ha para ser efectivo. Por lo tanto, podemos reorganizar la relación (3) para formular la siguiente condición para la conservación de residuos:

$$P - (U_E + U_Q + U_I + U_D) \geq 2 \quad (4)$$

Si se satisface esta condición, se habrán conservado suficientes residuos como para formar un mantillo efectivo. Sin embargo, si no se satisface esta condición habrá que o aumentar la producción de residuos (P) o disminuir sus usos alternativos ($\sum U$) si se quiere formar un mantillo efectivo. A continuación revisaremos el potencial de estas opciones en términos generales, tomando en cuenta los posibles costos que implicaría para el productor. Cuanto más altos estos costos, más altos son los costos de oportunidad de los residuos como mantillo y menos atractiva será la adopción de la tecnología. Sin embargo, hay que resaltar que estos costos serán específicos para cada localidad.

Aumentar la producción

Aumentar la producción de residuos en primera instancia parece ser una opción que podría aumentar la posibilidad de satisfacer la condición de la conservación de residuos (4). Sin embargo, muchos de los usos están directamente relacionados con la cantidad total de residuos, como son la quema, la incorporación y el desgaste. Ceteris paribus, esto implicaría que un aumento en la producción resultaría también en un aumento de estos usos. Sólo en los casos

donde la extracción productiva es importante y de un nivel más o menos fijo (p.e. a través del pastoreo de la parcela) se podría aliviar la disponibilidad de residuos substancialmente al aumentar la producción. Por lo tanto, parece más prioritario disminuir usos como la quema y la incorporación primero.

Disminuir la incorporación

La promoción de la labranza de conservación en los sistemas de labor se ha enfocado en disminuir la incorporación. De allí también se originó el énfasis en la labranza mínima y la labranza cero, que disminuyen substancialmente la incorporación de residuos en comparación con sistemas de labranza más intensivos. Una de las primeras metas al promover la labranza de conservación en los sistemas de labor es eliminar la práctica del barbecho.

Disminuir el laboreo reduce substancialmente la incorporación de residuos. Además, puede generar un ahorro substancial de gastos en la preparación del terreno. Este puede ser uno de los mayores atractivos de la tecnología a corto plazo. Sin embargo, la reducción del laboreo también resulta en una cama de siembra más irregular cubierta con más residuos. La presencia de los residuos dificulta la siembra y la hace más tardía, tanto si es manual, con tracción animal ('*tapa pie*') o mecánica con sembradora convencional. Una sembradora directa soluciona este problema al poder sembrar a través de los residuos en un suelo no preparado (pero laborable). Sin embargo, hasta la fecha la disponibilidad de este tipo de maquinaria es relativamente baja en México, entre otras cosas por su elevado costo. Por lo tanto, la adopción de la labranza de conservación en los sistemas de labor en México ha estado orientada hacia los sistemas de labranza mínima. Esto tiene el inconveniente de que estos sistemas de labranza mínima todavía incorporan una parte substancial de los residuos (p.e. dos pasadas con rastra de discos podrían incorporar la mitad de los residuos presentes; ACC y CTIC, 1994). Esto es especialmente problemático en las zonas de México donde la disponibilidad de residuos ya es limitada.

Además, no es sólo el proceso de la siembra lo que se dificulta. Algunos cultivos simplemente no logran establecerse debajo de un mantillo de residuos del cultivo previo (p.e. garbanzo después de maíz en Jalisco; Mendoza *et al.*, 1992). Por lo tanto, el patrón de cultivo puede limitar la posibilidad de disminuir la incorporación. La falta de laboreo también puede generar problemas con las malezas perennes en los

sistemas basados en cero labranza. Por otro lado, el no incorporar los residuos podría limitar el crecimiento de malezas si el mantillo es lo suficientemente grueso.

Eliminar la quema

La promoción de la labranza de conservación en los sistemas no laborables se ha enfocado en la eliminación de la quema de residuos. De hecho, la práctica de la quema es incompatible con la labranza de conservación, ya que ésta es tan eficiente deshaciéndose de los residuos que no deja los suficientes para un posible mantillo. Sin embargo, muchos de los productores asocian la incidencia de varias plagas del maíz (incluyendo plagas del suelo como la gallina ciega *Phyllophaga spp.*, plagas de follaje como el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* y roedores) con la no-quema de los residuos de maíz. El potencial para una mayor incidencia de plagas y enfermedades existe ya que la mayoría de las áreas de temporal en México tiene un patrón de cultivo de maíz - maíz continuo con un solo cultivo por año. Sin embargo, el dejar los residuos no sólo favorece las plagas y enfermedades dañinas, sino también a sus enemigos naturales y ayuda a establecer un nuevo equilibrio. De hecho, algunos estudios reportaron una incidencia igual o menor en algunas plagas (por ejemplo, una disminución en la incidencia del gusano cogollero según Violic, et al, 1989), mientras que otras aumentaron. Por lo tanto, todavía no está totalmente claro cómo el dejar los residuos como mantillo influye sobre los costos de control de estas plagas y enfermedades o el daño que causan.

Algunos programas de labranza de conservación se han enfocado en dar incentivos y frenos para convencer a los productores de la no-quema. Por ejemplo, por un lado, el Gobierno del Estado de Chiapas ha estado distribuyendo incentivos como rociadoras de mochila, insumos y créditos para promover las prácticas de la no-quema. Por el otro, ha impuesto una ley que prohíbe el uso de la quema en la preparación de la tierra (Cadena, 1995).

Cabe resaltar que un productor dejará de quemar sólo si considera que los beneficios de la no-quema son mayores que los costos. Sin embargo, no es suficiente que el productor mismo se convenza de las ventajas de la no-quema y no queme sus residuos. Siempre que uno de sus vecinos siga quemando para preparar el terreno o regenerar la pastura, existe el riesgo de quemar accidentalmente el mantillo (es común oír en México que el productor no quemó pero que 'se pasó

la lumbre'). Por ende, si el productor quiere estar seguro de que sus residuos no se quemarán posiblemente tendrá que hacer inversiones adicionales en tiempo y esfuerzo para construir una guardarraya.

Disminuir la extracción

Disminuir la extracción productiva de los residuos sólo es factible si el productor considera que los beneficios de no extraerla son mayores que los costos. Cabe destacar que como se trata de extracción productiva en general si existen verdaderos costos visibles al conservar los residuos. Además, se pueden distinguir varias posibilidades. Puede ser que el productor extraiga los residuos para su propio beneficio. En este caso, al reducir la extracción necesitará buscar alternativas de forraje o disminuir su hato. A primera vista esto no parece una opción muy atractiva.

También puede ser que otros productores extraigan sus residuos. En este caso, los costos de disminuir la extracción dependen mucho del hecho de si los usuarios recompensarán al dueño. Es posible que la extracción sea gratuita. Por ejemplo, a través de un pastoreo comunal después de la cosecha, que es una práctica común en México y Centroamérica. Si es socialmente aceptable, el productor puede contemplar restringir el acceso de los animales a sus parcelas. Por ejemplo, cercando su parcela. Sin embargo, en este caso la necesidad de proteger sus residuos puede representar una barrera substancial de entrada en términos de costo.

En otros lugares ya existe un mercado para los residuos de la cosecha, donde generalmente se vende la 'pastura' (los residuos) en pie. Los arreglos y precios son variables, dependiendo de la región (p.e. demanda y producción de residuos como forraje) y de los factores específicos de la parcela (p.e. la ubicación, el cercado, la disponibilidad de agua, la cantidad de residuos). En estos casos, los costos de disminuir la extracción de los residuos son especialmente obvios, ya que, en general, los productores tendrán que ceder la venta de los residuos. Esta es una limitación particularmente severa si los beneficios en relación a la venta de los residuos forman una parte substancial de la ganancia bruta (p.e. > 10%), como es el caso en algunas zonas semiáridas de México (p.e. la Mixteca oaxaqueña, Bravo *et al.*; 1992).

Cabe destacar que los arreglos de tenencia de la tierra en México generalmente también incluyen

disposiciones respecto al destino de los residuos. Por lo tanto, puede ser imposible para un arrendador disminuir la extracción de residuos ya que ésta está completamente en los manos del dueño.

Disminuir el desgaste

Es difícil disminuir el desgaste ya que este proceso es autónomo y el resultado directo de las fuerzas de la naturaleza. El productor sí tiene la opción de influir algo en el proceso a través de la fragilidad de los residuos (p.e. la selección de cultivo; y método de cosecha) y el tiempo que están expuestos éstos al desgaste (p.e. la época de siembra). Sin embargo, parece que esta opción no genera grandes posibilidades para la conservación de residuos.

En resumen, las opciones más realistas para poder satisfacer la condición de conservación de los residuos parecen ser la eliminación de la quema y la disminución de la incorporación (especialmente el barbecho en sistemas mecanizados). Ambas prácticas son muy eficaces en deshaciéndose de los residuos y por lo tanto, son incompatibles con la conservación de éstos. En México, la promoción de la labranza de conservación también enfatizó estos dos factores. Sin embargo, bien puede ser que aun con la no-quema y la labranza reducida no queden suficientes residuos como para formar un mantillo efectivo. En estos casos habrá que reducir la extracción productiva de los residuos, que en general parece ser una opción más costosa. El potencial de la tecnología en estos casos dependerá mucho del costo de oportunidad de los residuos como forraje. Las otras dos alternativas, aumentar la producción o disminuir el desgaste de los residuos, son relativamente menos promisorias.

CONCLUSION

La clave de la labranza de conservación es el uso de los residuos como mantillo. Sin embargo, existe mucha confusión en relación al término labranza de conservación, entre otras cosas por poner demasiado énfasis en la labranza. El laboreo es sólo uno de los factores que afecta la disponibilidad de los residuos en áreas tropicales. Por ende, la conservación de residuos parece un término más apropiado para estos ambientes.

En México, la promoción de la labranza de conservación hasta la fecha enfatizó la no-quema y la no-inversión de suelo (el no barbechar). De hecho, estos dos factores son incompatibles con la

conservación de suficientes residuos para formar un mantillo efectivo. Sin embargo, hay que destacar que para llevar a cabo la conservación de residuos es necesario ver todos sus usos en conjunto. O sea, no sólo la quema o el barbecho, sino también la extracción productiva, el total de la incorporación y el desgaste, además de la producción de residuos. El conjunto de usos alternativos y la producción se reúne en el balance de residuos. Este balance es particular para cada localidad así que es peligroso generalizar. Sin embargo, en el contexto mexicano, el balance de residuos por lo general no da mucho lugar a la conservación de residuos en zonas semiáridas. En estas zonas, los residuos generalmente son una importante fuente de forraje en la temporada seca, en tanto que la producción es limitada. Por ejemplo, en la región Mixteca (estado de Oaxaca), que es semiárida, Bravo et al. (1992) encontraron que la importancia de los residuos como forraje y el consecuente alto precio de los mismos representa una grave limitación para la conservación de residuos.

REFERENCIAS

- ACC and CTIC. "Residue Scorecard." West Lafayette, IN, USA: CTIC, 1994.
- Bravo, E.M., M.v. Nieuwkoop, J. Rafael Contreras, J.L. Jiménez, y M. Morales Guerra. El Potencial de la Labranza de Conservación en la Mixteca Oaxaqueña. México, DF: INIFAP-CIMMYT, 1992.
- Cadena, P. Del Azadón a la Labranza de Conservación: La Adopción de la Labranza de Conservación en Dos Comunidades de la Sierra Madre de Chiapas. Montecillos, México: Colegio de Postgraduados, 1995.
- Choto de C., C. y G. Saín. Análisis del Mercado de Rastrojo y sus Implicaciones para la Adopción de la Labranza de Conservación en El Salvador. En: Síntesis de Resultados Experimentales 1992. Editado por Bolaños, J., G. Saín, R. Urbina, y H. Barreto. Guatemala: CIMMYT-PRM, 1993, p.212.
- Kok, H. and J. Thien. "RES-N-TILL: Crop Residue Conservation and Tillage Management Software." *Journal of Soil and Water Conservation* 49(1994):551-553.
- Lal, R. "Effects of erosion on crop productivity". *CRC Critical reviews in Plant Sciences* 5(1987):303-367.
- Lal, R. "Conservation Tillage for Sustainable Agriculture: Tropic versus Temperate Environments." *Advances in agronomy* 42(1989):85-197.

Mendoza M., S., M.v. Nieuwkoop, L. Harrington, y R. Tripp. Diagnóstico Sobre el Potencial de la Labranza de Conservación en el Valle de Ameca, Jalisco. México, DF: INIFAP-CIMMYT, 1992.

Pierce, F.J. A Systems Approach to Conservation Tillage: Introduction. En: A Systems Approach to Conservation Tillage. Edited by D'Itri, F.M. Michigan, USA: Michigan State University, Lewis Publishers, Inc. 1985, p.3-14.

Saín, G. Economics of Soil Conservation. A Conceptual Framework for its Analysis at the Farm Level. Documento interno. San José, Costa Rica: CIMMYT, 1996.

Shaxson, T.F., N.W. Hudson, D.W. Sanders, E. Roose, and W.C. Moldenhauer. Land Husbandry: A Framework for Soil

and Water Conservation. Ankeny, Iowa: Soil and Water Conservation Society, 1989.

Shelton, D.P., E.C. Dickey, R. Kanable, S.W. Melvin, and C.A. Burr. "Estimating Percent Residue Cover Using the Line-Transect Method." Conservation Tillage Facts CTNC-6, 1994.

Tripp, R. y H. Barreto. Estimación Aproximada de la Cantidad de Rastrojo de Maíz sobre el Suelo. Material de capacitación inédito. México, DF: CIMMYT, 1993.

Violic, A.D., F. Kocher, A.F.E. Palmer, y T. Nibe. Experimentación sobre labranza cero en maíz en la región costera del norte de Veracruz. En: Labranza de Conservación en Maíz. Barreto, H., R. Raab, A. Tasistro, y A.D. Violic (eds). México, DF: CIMMYT, 1989, p.155.

Estudio de Adopción de la Labranza de Conservación en el Cultivo de Maíz, en la Región de Azuero, Panamá, 1994

Adys Pereira¹, Gustavo Sain,² y Yisela Villarreal³

RESUMEN

En 1983-84, IDIAP inició investigación y validación de la labranza de conservación en la zona de Azuero, recomendándose la chapia del terreno, la aplicación de un herbicida quemante y sembradoras de cero labranza. Este estudio se hizo en tres regiones maiceras de Azuero para estimar el grado de adopción de esta tecnología; identificar los factores que han incidido en la adopción y analizar sus implicaciones para los programas de investigación y transferencia. Se hizo una encuesta formal a 122 productores, con un muestreo estratificado por región y tamaño de parcela. Los resultados indican que el cambio tecnológico más importante ha sido la progresiva eliminación del arado y la reducción en el número de pases de rastra. En la Región I se encontraron niveles de adopción del 29% en cero labranza y de 37% en labranza mínima; en la Región II y III el nivel de adopción de la cero labranza ha sido muy bajo y 27% han adoptado la labranza mínima. Estas variaciones se explican por las diferencias regionales en los factores que inciden en la adopción. Los factores que influyeron positivamente son la accesibilidad o tenencia de maquinaria de cero labranza, el manejo o nivel de información que poseen los productores sobre la tecnología, la tenencia de la tierra, la topografía plana del terreno y nivel de recursos de los productores, estimados a través de la superficie sembrada y el número de reses. Entre los factores que influyeron negativamente sobresalieron la tenencia de maquinaria convencional y la compactación del terreno.

La producción de maíz en la Región de Azuero (que comprende las provincias de Herrera y Los Santos) se realiza a través de dos sistemas principales: el maíz mecanizado y el maíz a chuzo tradicional o de subsistencia, sembrada generalmente en áreas pequeñas caracterizado por un bajo uso insumos, escaso acceso al crédito y asistencia técnica.

El sistema mecanizado objeto de este estudio puede caracterizarse de la siguiente manera: un sistema de producción con uso de insumos, maquinaria, semilla

certificada, un nivel tecnológico alto, generalmente reciben asistencia técnica, tienen acceso a financiamiento, un porcentaje considerado de productores alquilan terrenos para realizar las actividades y la producción se destina en su totalidad al mercado.

En la región de Azuero el hectareaje sembrado de maíz bajo este sistema mecanizado, ascendió a 11,669 ha, en el último año agrícola 1994-95 que equivale a un 80% de la superficie total de maíz mecanizado a nivel nacional. Esta actividad involucra aproximadamente 600 productores, y genera ingresos brutos en el área por un monto estimado de 8.5 millones de balboas en concepto de pago de mano de obra, ganancias al productor y compra de insumos y servicios requeridos en el proceso de producción.

A inicios de la década del 80, los productores comerciales de maíz de la Región de Azuero preparaban sus terrenos mecánicamente utilizando lo que denominaremos la labranza convencional, que consiste en voltear el suelo con un arado de disco o rastra pesada, a una profundidad de aproximadamente 6 pulgadas, y realizar dos o más pases de rastra o Semi Roma hasta dejar el terreno en condiciones para la siembra, (Pereira de Herrera y col. 1990).

El cultivo de maíz mecanizado se realiza en terrenos planos, con pendientes menores a 20°, y con una precipitación promedio (periodo 80-93) anual de 975.0, con altas precipitaciones en meses como agosto y septiembre (102.4 y 123.6 mm, respectivamente) que corresponden a los periodos de siembra y primeros estadios del cultivo de maíz. Uno de los principales problemas encontrados en los campos de los productores que utilizan la preparación del terreno de manera convencional es la fuerte erosión y lavado de los suelos.

En términos generales la labranza de conservación, definida como un sistema o secuencia de operaciones que reduce la pérdida del suelo o del agua, en comparación al sistema convencional (Kilmer, 1982); incluye sistemas que van desde la labranza cero hasta la labranza reducida.

¹Lic. MS.c en Economía del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), ²Ph.D en Economía, CIMMYT, Costa Rica y ³ Asistente de Socioeconomía, IDIAP

Atendiendo a las bondades de la labranza de conservación: de reducir la erosión, conservar humedad del suelo, reducir costos de producción y que presenta menos limitaciones al momento de la siembra; el IDIAP inició a partir de 1984-85 un programa de investigación y validación de la tecnología de cero labranza, la cual se describe a continuación. Se recomendó la utilización de una chapia mecánica o manual del terreno, la aplicación posterior de un herbicida quemante (por ej. Gramoxone a razón de 2 lt/ha) una vez que la maleza inicia su rebrote, y la siembra después con máquina sembradora de precisión adaptada a este sistema de preparación. Si la maleza no alcanza alturas mayores de 0.50 m, se debe aplicar el herbicida sin corte previo. La siembra también puede ser realizada a chuzo dependiendo del tamaño de la parcela. En parcelas con problemas de malezas de hoja ancha como la *Baltimora recta* (cirulaca) se puede evitar el chapeo, si dos a tres meses antes de la siembra se aplica 2-4-D a razón de 1-2 lt/ha.

Por su parte, el Ministerio de Desarrollo Agropecuario, (MIDA) ha difundido entre los productores del área esta tecnología, a través de parcelas demostrativas y actividades de transferencia. Por otro lado, algunas casas comerciales han introducido para la venta desde mediados de la década del 80, máquinas sembradoras de precisión las cuales se adaptan al sistema de labranza de conservación.

Se tiene conocimiento informal que existen productores que han adoptado la cero labranza tal como se describió anteriormente; otros han adoptado parcialmente la labranza mínima modificando o adaptando el sistema (por ejemplo eliminando el arado y disminuyendo el número de pases de Semi Roma o rastra); y se conoce también de productores que no han adoptado la tecnología.

Lo anteriormente expuesto, argumentó la necesidad de efectuar un estudio de adopción de la labranza de conservación en la Región de Azuero

Los objetivos planteados para este estudio fueron los siguientes:

- a) Identificar el grado de adopción de la cero y mínima labranza de conservación en maíz en la Región de Azuero.
- b) Identificar los factores que influyen en la adopción de la cero y mínima labranza en maíz; y

- c) Analizar las implicaciones de este estudio para el programa de investigación y transferencia en maíz en la Región de Azuero.

METODOLOGIA

Para determinar los niveles de adopción de la labranza de conservación y los factores que inciden en este proceso en la Región de Azuero, se utilizó una metodología de análisis descriptivo y la aplicación de un modelo de decisiones que permite explicar sus factores determinantes. Para efectuar estos análisis se utilizaron datos empíricos de una encuesta formal aplicada a 122 productores de las principales áreas maiceras de la Región de Azuero, donde prevalece el sistema de producción mecanizado y la producción se destina en su totalidad al mercado.

A pesar de que existen diferencias climatológicas y de suelo no tan marcadas a nivel de las áreas del estudio, se tiene conocimiento a priori de que existen diferentes condiciones particulares en las áreas, que han permitido un mayor o menor grado de adopción de la práctica de la labranza de conservación. Estas características pueden ser sintetizadas de la siguiente manera: la variación en los tipos de labranza utilizados, la caracterización del productor a nivel de los recursos productivos (tamaño de la parcela, de maíz y de la finca, tenencia de ganado, acceso a maquinaria, entre otros), acceso a la tecnología de conservación.

De acuerdo a la ubicación política-regional de Panamá el estudio se realizó en ocho distritos de las provincias de Los Santos y Herrera y 50 localidades distribuidas a lo largo de la zona costera maicera, (tal como se observa en la Fig.1).

Tomando en consideración las diferencias por área señaladas, se estimó conveniente estratificar la muestra a utilizar en este estudio. Se utilizó un muestreo estratificado, considerando tres grandes estratos o áreas. La región I, que comprende a los distritos de Las Tablas, Pedasí, Pocrí y Guararé en la Provincia de los Santos contempló 28 localidades; la región II conformado por los distritos de Los Santos y Macaracas en la Provincia de Los Santos, incluyó 12 localidades; y en la región III, formado por los distritos de Chitré y Parita en la Provincia de Herrera, se realizaron encuestas en 10 localidades, Fig.1.

En cada estrato o área se estratificó en base al tamaño de la parcela más grande de maíz cultivadas por el productor. Para la selección de la muestra se

utilizaron distintos rangos de tamaño de parcela (0.1 - 2.5; 2.6 - 5.0; 5.1 - 10.0; 10.1 - 30.0; 30.1 - 50.0; 50.1 - 100.0 y > de 100 ha).

Para determinar el tamaño de la muestra en cada rango de tamaño de la parcela se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N \cdot \sigma^2}{(N-1) D^2 + \sigma^2}$$

donde:

N = Número total de productores en cada rango de tamaño de la parcela.

σ^2 = varianza del tamaño de la parcela

$$D^2 = \frac{B^2}{4}$$

donde:

B es igual al error de estimación del muestreo, el cual fue considerado en un 15% de la desviación estándar del tamaño de la parcela, para el caso de la región II y II; en tanto que, para la región III se utilizó un 25%, ya que las desviaciones eran muy altas, elevando demasiado el tamaño de la muestra en un estrato.

La información del número de productores y tamaño de las parcelas de maíz y su distribución regional que fue suministrada por el MIDA, quien recopila la información de todos los productores integrados al mercado.

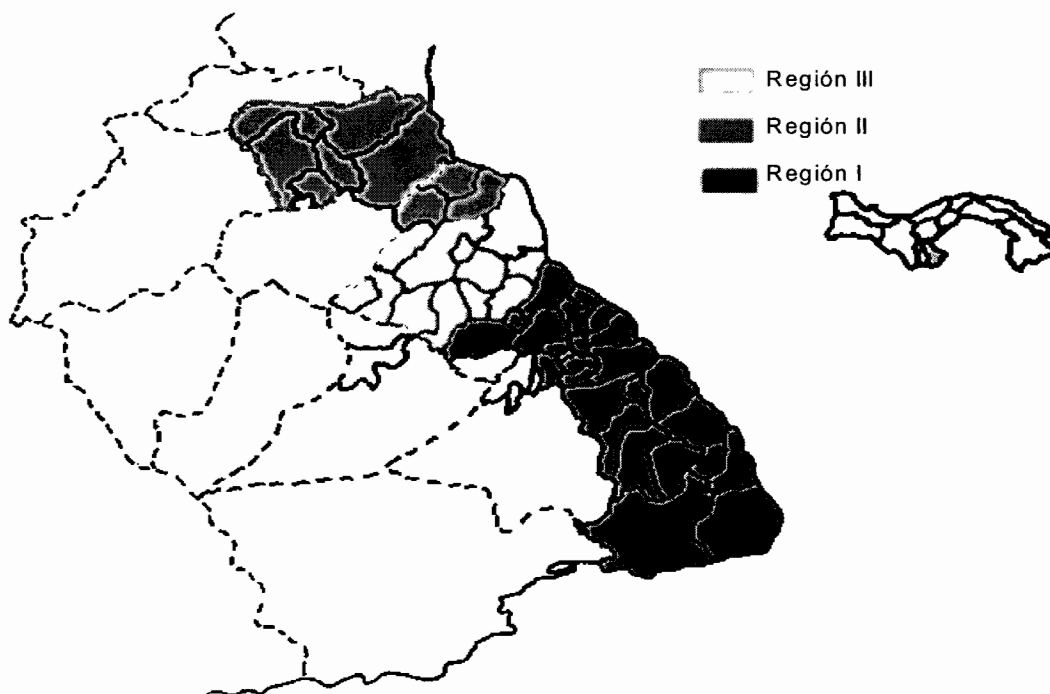


Figura 1. Ubicación política de los ocho distritos donde se realizó el estudio en las provincias de Los Santos y Herrera y 50 localidades distribuidas a lo largo de la zona costera maicera.

El estudio se realizó con una encuesta formal a 122 productores distribuidos en los tres estratos de la siguiente manera: 52 encuestas en la región I; 46 en la región II; y 24 encuestas en la región III. Esta muestra utilizada representó a nivel general un 21% del total de productores o fincas maiceras que producen para el mercado en la región de Azuero.

La encuesta se realizó en marzo y abril de 1994, luego del ciclo agrícola del maíz (II coa) correspondiente al año agrícola 1993-94.

En el análisis de los datos de la encuesta se utilizaron indicadores de estadísticas descriptivas, correlaciones, regresiones (para la estimación de las curvas de difusión y adopción) pruebas de t, tablas cruzadas entre otras. Se utilizó además un modelo logístico multivariado de decisiones permite explicar la adopción y sus factores determinantes.

La estimación de la curva de difusión se efectuó utilizando una función logística, que supone que el comportamiento del porcentaje acumulado de adopción sigue una forma de S, con un incremento inicial lento en el uso de la tecnología, seguido de un incremento más rápido y luego una desaceleración a medida que el porcentaje acumulado de adopción se acerca al porcentaje máximo esperado. Matemáticamente se expresa así:

$$Y_t = K / (1 + e^{-a-bt}),$$

donde:

- Y_t = porcentaje acumulado de agricultores que han adoptado la tecnología en un tiempo t.
- K = el tope superior de adopción.
- B = una constante, relacionada con la tasa de adopción; y
- a = una constante, relacionada con el tiempo en que comienza la adopción.

El porcentaje de K se determinó de forma independiente.

Para calcular los parámetros a y b se utilizó una regresión de cuadrados mínimos, utilizando observaciones reales sobre Y_t, y transformando la curva logística en:

$$\ln\left(\frac{Y_t}{K - Y_t}\right) = a + bt$$

CARACTERIZACION DEL SISTEMA DE PRODUCCION

Características Generales del Area:

El área donde se realizó el estudio se ubica en la zona costera (distancia de aproximadamente 20 km. de la costa) de la Región de Azuero (provincias de Herrera y Los Santos), Fig. 1. De acuerdo a los análisis de suelo de algunas localidades seleccionadas en el área de estudio, los suelos van de ácidos a ligeramente ácidos (pH 5.6 a 5.9); y la textura en la mayoría de los casos, es franco arcilla arenoso. El contenido de P es variable observándose valores que van de 1.2 a 5.7 ug/ml; en general los suelos tienen muy baja toxicidad de aluminio y bajo contenido de materia orgánica. En general, esta zona se encuentra a una altitud entre 10 y 40 msnm; y la precipitación pluvial promedio anual oscila entre 1000 a 1500 mm (de mayo a noviembre)

En cuanto a la topografía de las parcelas de maíz evaluadas en el estudio, en su mayoría son planas (65%); sin embargo, aproximadamente un 35% de las parcelas descritas por los productores ubicadas como onduladas en la región I y II. En la región III, prevalecen mayormente los terrenos planos (79%).

Características del Sistema de Producción:

El sistema de cultivo utilizado por los productores de maíz de Azuero que producen para el mercado, es la siembra del maíz en II coa (septiembre), y seguidamente a la cosecha se pastorean los rastrojos de maíz. Durante la I coa (con el inicio de lluvias) se mantiene el ganado en pastoreo hasta la preparación del terreno para la siembra del maíz nuevamente en II coa.

Los datos de la encuesta confirman lo anterior. En las tres regiones estudiadas, arriba del 90% de las parcelas tenían el sistema pastoreo-maíz II coa-pastoreo. En la región II, se encontró un 10% de los productores que sembraron en I coa maíz u hortalizas. La caracterización del componente ganadero y la importancia del mismo dentro del sistema de producción de maíz, puede realizarse tomando como base indicadores tales como el hectareaje dedicado a ganadería y el número de reses.

En general se observa que la ganadería es un componente importante en todas las regiones. Un alto

porcentaje (arriba del 70%) de los productores de maíz en los tres estratos son ganaderos, dedicando en promedio entre 60 y 91 hectáreas de terreno, tanto propias como alquiladas. Prevalcen desde pequeños ganaderos (con posesión de menos de 15 reses) hasta los ganaderos, que tienen arriba de 100 cabezas de ganado. Si bien la ganadería es importante en las tres regiones, se puede concluir que en la Región I, los ganaderos son más grandes. Se encontró en la región I, promedios más altos en número de reses por productor, respecto al resto de las regiones (101 vs 61 y 74, respectivamente).

La importancia del componente ganadero en el sistema de producción de maíz se refleja también, en los tipos de arreglos que los productores de maíz que alquilan realizan con los dueños de los terrenos; y en el uso que se le dan a los rastrojos.

El estudio se realizó sobre la base de la parcela más grande sembrada de maíz. Con respecto a la tenencia de la tierra, se encuentran diferencias a nivel de las regiones. En la región I, existe un mayor porcentaje de tierras alquiladas en comparación con las regiones II y III, donde prevalecen las tierras propias, Fig. 2.

El alquiler de estas parcelas se realiza generalmente durante el ciclo del cultivo, ya que los dueños de las mismas son generalmente ganaderos y exigen el uso del rastrojo.

En todas las regiones, los productores de maíz que cultivan en tierras propias utilizan los rastrojos para alimentar el ganado (más de un 85% de los productores) y aquellos que no son ganaderos alquilan estos rastrojos. Por otro lado, un alto porcentaje de los productores que siembran en terrenos alquilados (aproximadamente 75% para las regiones I y II y de 86% para la región III) no tienen derecho a utilizar los rastrojos de maíz, ya que generalmente los dueños de estas tierras son ganaderos. Esta situación se da aún cuando los productores tienen varios años de alquilar la misma parcela. Por ejemplo en la región I, un 44% de los productores que alquilan terrenos para cultivar maíz, tenían más de cuatro años de alquilar la misma parcela; porcentajes un poco menores se encuentran también en las regiones II y III. Los resultados de la encuesta, revelan la importancia que tienen los rastrojos de maíz para la alimentación del ganado durante la crítica época seca.

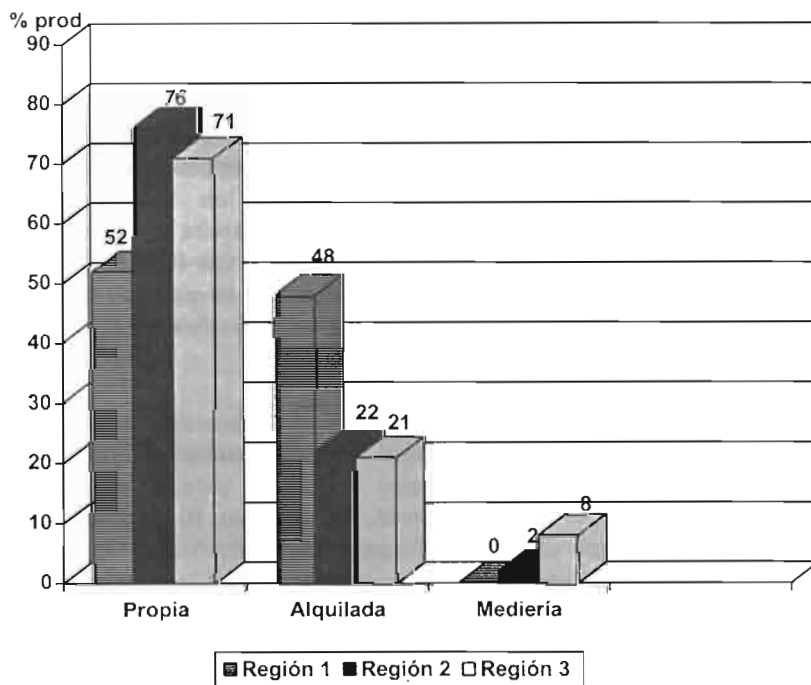


Figura 2. Tenencia de la tierra en la parcela más grande de maíz, por Región, Azuero, Panamá.

Las características de tenencia de la tierra están vinculadas con el número y tamaño de las parcelas utilizadas en el cultivo de maíz. Se encontró una diferencia marcada en las superficies totales sembradas de maíz a nivel de las regiones, así como en el número de parcelas utilizadas. Como puede apreciarse en el Cuadro 1, en la región I los productores siembran superficies más grandes en relación con los dos estratos restantes. En las áreas de Las Tablas, Pocrí, Pedasí y Guararé, la superficie promedio fue de 47.2 ha; en comparación con 15.9 y 16.6 ha en las regiones II y III, respectivamente. Se encontró una diferencia estadística significativa entre la superficie sembrada promedio de la región I y la correspondiente a las regiones II y III; no así entre las superficies de las regiones II y III Cuadro 1.

De acuerdo a la Fig. 3 en la región I, un 25% de los productores sembraron áreas menores a 5 ha; en tanto que para las regiones II y III estos porcentajes ascendieron a 50 y 46% respectivamente. Por otro lado, se encontró en la región I, que cerca de un 20% de la muestra sembraron superficies mayores a 100 ha; en contraste con las regiones II y III que solamente reportaron un 4%.

El hecho de que los productores de la región I siembren áreas más grandes los obliga a realizar la actividad productiva en varias parcelas, y en mayor medida alquiladas, comparadas con el resto de las regiones. Al respecto, en la región I, el número de parcelas utilizadas es mayor que en el resto de las regiones.

En las regiones II y III el cultivo de maíz se concentra en una o dos parcelas (78.3 y 62.4%, respectivamente), en tanto que, en la región I, un 32.7% de los productores sembraron de 3 a 5 parcelas; y un 19% sembraron más de seis parcelas.

Cuadro 1. Superficie sembrada de maíz promedio, por Región, Azuero, Panamá, 1994.

Descripción	Región		
	I	II	III
Superficie promedio (ha)	47.2	15.9	16.6
Varianza	4,911	863	691
Prob. en la prueba de t estrato 1 y 2	0.002		
Prob. en la prueba de t estrato 1 y 3	0.003		
Prob. en la prueba de t estrato 2 y 3	0.461		

Formas Actuales de Preparación del Suelo en la Región I

La descripción de la preparación del terreno realizada por los productores de maíz durante 1994 permitirá caracterizar los métodos de labranza utilizados actualmente y comprender mejor el proceso de adopción de la cero y mínima labranza.

Se encontraron diferencias marcadas a nivel de las regiones en estudio, los cuales se pasan a describir.

A nivel de los distritos de Pocrí, Pedasí, Las Tablas y Guararé (Región I), se encontró un 25% de los productores han adoptado la tecnología de cero labranza. Un porcentaje considerable de los productores (43%) han realizado adaptaciones al sistema de cero labranza que se transfirió, eliminando el arado, efectuando uno o dos pases de Semi Roma y aplicando un herbicida quemante. Esta forma de preparación del terreno la denominaremos mínima labranza.

Es importante destacar que solamente un 14% de los productores utilizan el arado y rastra y correspondió a una localidad muy específica del distrito de Guararé. Un 19% de los productores utilizó tres pases de Semi Roma, lo cual constituye un sistema muy similar a una labranza convencional, con la diferencia que no se utiliza el arado, Fig. 4

De acuerdo a los resultados de la encuesta, la tecnología de cero y mínima labranza que actualmente están utilizando los productores de maíz puede ser descrita de la siguiente manera. Los productores que utilizan tanto cero como mínima labranza aplican un herbicida quemante, generalmente Round-up o Gramoxone, aplicado por la mayoría de los productores en los primeros 15 días antes de la siembra, principalmente para el caso de Round-up.

Hay que anotar que la chapia mecánica que fue parte de la práctica recomendada, no es una práctica común entre los productores de maíz, independientemente del tipo de labranza utilizado. El período en que los productores realizan el o los pases de Semi Roma varía generalmente en un lapso de un mes y 15 días entre un pase y otro. No obstante, un grupo de productores (38%) de los que realizaron dos pases de Semi Roma efectuaron los mismos de manera seguida.

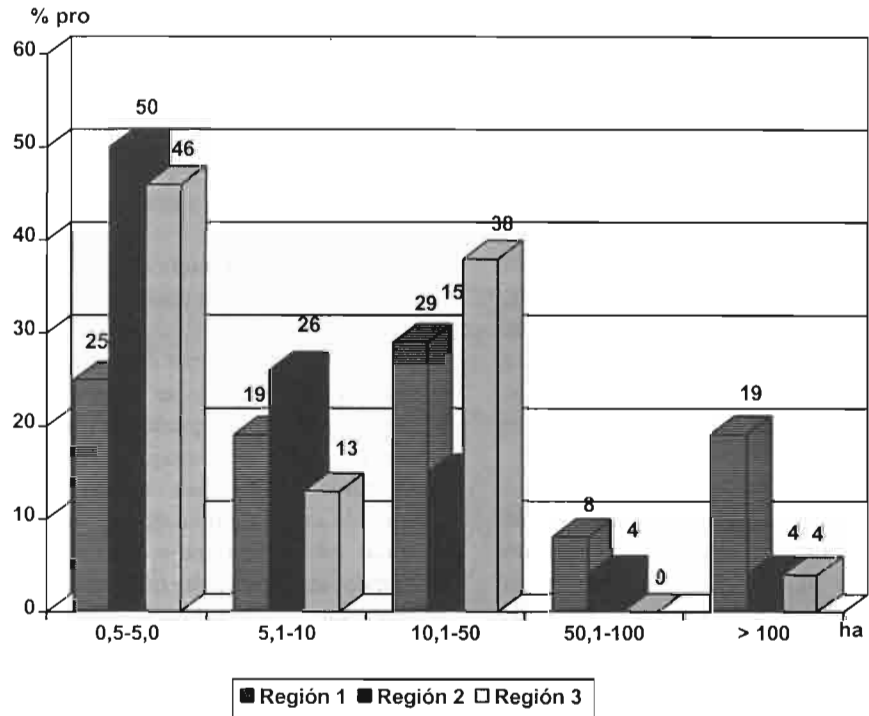


Figura 3. Superficie total sembrada de maíz, por Región, Azuero, Panamá, 1994.

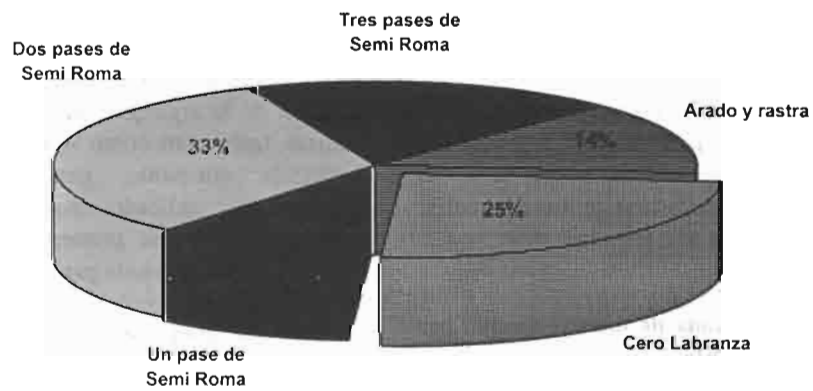


Figura 4. Formas de Preparación del Terreno en Maíz, Región I, Azuero, Panamá, 1994.

La siembra la realizan con una sembradora de cero labranza, la cual a diferencia de la sembradora convencional utilizada en suelos preparados con arado o rastra pesada, posee discos corrugados que permiten la siembra en terrenos preparados bajo el sistema de cero o mínima labranza.

También se utilizan sembradoras convencionales a las cuales se les han adaptado los discos. Un 70% de los productores entrevistados en la región I utilizaron la sembradora cero labranza o la convencional con discos adaptados, Cuadro 2. La mayoría de los productores manifestaron que tenían acceso a este tipo de sembradora tanto propia como alquilada, por lo que ésta no constituye una limitante de la adopción de la tecnología de cero labranza en este estrato.

Paralelamente a los cambios en la preparación del terreno, se han dado los cambios en los tipos de sembradoras. Al respecto los productores de la región I, cambiaron el uso de sembradoras de plato y las comerciales (John Deere 7,000 o Giraldi) por las sembradoras de cero labranza. Un 75% de los productores manifestaron que tenían cuatro o menos años de estar utilizando las sembradoras de cero labranza.

Formas Actuales de Preparación del Suelo en la Región II y III

Se encontraron diferencias marcadas en la preparación del suelo entre la región I, y las regiones II y III. En estas últimas regiones alrededor de un 45% de los productores continúan utilizando el arado de disco con uno o dos pases de rastra, tal como se aprecia en la Fig. 5; situación que se presentó muy esporádicamente en la Región I. Es muy común también como forma de preparación del terreno el uso de la Semi Roma (dos y tres pases). Se observa una ligera tendencia a disminuir los pases de rastra en la región III versus la región II (33% de los productores de la región III realizaron dos pases de Semi Roma en comparación con 20% para la región II).

En lo que respecta a los tipos de preparación objetos de estudios, como es la labranza de conservación, podemos hacer los siguientes señalamientos. Un 20% y 33% de los productores de la región II y III, respectivamente, están utilizando la labranza mínima como ha sido definida (uno o dos pases de Semi Roma), Fig. 5. La cero labranza solamente la está realizando un 13% de los productores en los dos estratos. Como se analizará en el siguiente punto, este

porcentaje no es equivalente al de adopción de esta tecnología, ya que algunos de estos productores (con énfasis en la región II), no han pasado por un proceso de uso de la labranza convencional, y luego una adopción de la cero labranza. Esta situación es diferente a la encontrada en la región I, en donde todos los productores utilizaron la labranza convencional en períodos anteriores y luego pasaron a la cero labranza.

Las modalidades en los tipos de preparación encontrados fueron los siguientes. En el caso del arado y varios pases de rastra, generalmente se dejan aproximadamente 15 días entre el arado y los dos pases de rastra seguidos. En otros casos, se encontró productores que realizan el arado y primer pase de rastra seguido, y luego en un período aproximado de 15 días realizan el segundo pase de rastra. Cuando los productores efectúan dos pases de Semi Roma, generalmente dejan un período de 15 días entre el primero y el segundo pase.

No es muy común el uso de herbicidas quemantes, cuando los productores utilizan dos pases de Semi Roma, a diferencia de la región I, donde el uso de la mínima labranza es acompañada del uso de herbicidas quemantes como Round-up o Gramoxone. Esto se explica, por una mayor presencia de las malezas, principalmente la pimentilla (*Cyperus rotundus*) en la Región I, en comparación con la II y III. Esto explica también el hecho de que los productores de las Regiones II y III que preparan sus terrenos en cero labranza utilizan como herbicida quemante el Gramoxone y no Round-up, como se encontró en la Región I.

La forma de siembra y el uso de sembradoras varió considerablemente a nivel de las regiones. En los distritos de Los Santos y Macaracas (región II), encontramos un porcentaje considerable de productores (41%) que utilizan el método de siembra a chuzo, y en menor medida en el distrito de Parita (región III). Por otro lado, se observa en los dos estratos que prevalece el uso de sembradoras de plato y convencional utilizadas mayormente en terrenos preparados bajo el sistema convencional, utilizando arado y rastra, Cuadro 2.

Esto indica que la adopción de la mínima labranza en las regiones II y III, no se ha dado en el uso de sembradoras de cero labranza, como es el caso de la región I. Incluso, aquellos productores que preparan sus terrenos bajo el sistema de cero labranza, realizan las siembras a chuzo. El uso de las sembradoras está vinculada a la disponibilidad de las mismas en el área.

DIFUSION DE LA LABRANZA DE CONSERVACION Y NIVELES DE ADOPCION

Los Cambios en la Preparación del Terreno a Partir de 1988 y los Niveles de Adopción

En esta parte del trabajo, se tratará de caracterizar el proceso de difusión de la tecnología de mínima y cero labranza en las distintas regiones en estudio, y la construcción de las curvas de difusión.

Se investigó entre los productores los cambios que habían realizado los productores en la preparación del suelo en los últimos seis años, sobre la base de que a partir de 1987-88 se da con mayor énfasis el proceso de difusión de la tecnología, a pesar de que los trabajos de validación se inician desde 1984-85.

La definición de la adopción de la labranza de conservación

El proceso de cambio más importante y más dinámico se ha verificado en la región 1. En este aspecto se encontró que un 70% de los productores han efectuado cambios en la preparación del suelo en los últimos seis años. La mayoría (76%) de estos productores efectuaron los cambios en los últimos tres años, lo cual es un indicador del dinamismo de estos cambios en años recientes. Los cambios más relevantes observados se refieren a la eliminación del arado, la reducción del número de pases de rastra o Semi Roma y la adopción de la labranza mínima o "cero labranza", Cuadro 3. Los niveles de adopción de la cero y mínima labranza en la Región I ascendieron a 29 y 37%, respectivamente.

En la evaluación de la adopción de la labranza de conservación se considerarán como adoptadores de esta tecnología, a aquellos productores de maíz que han cambiado de un sistema de preparación tradicionalmente convencional (con utilización del arado y varios pases de rastras) al uso de la cero o mínima labranza. En este sentido se excluyen de la muestra a los productores que tradicionalmente han realizado la cero labranza, (uso de chapeo o herbicida quemante, y siembras a chuzo) y que nunca han utilizado la labranza mecanizada. Estos productores siempre han utilizado la cero labranza; por tanto, no pueden ser considerados como adoptadores, ni tampoco como no adoptadores.

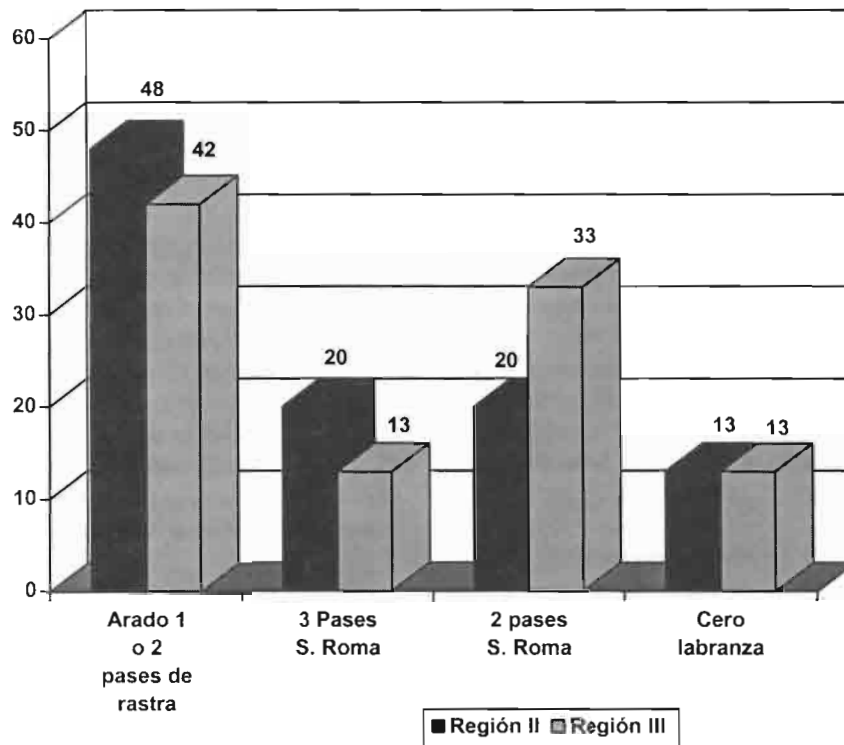


Figura 5. Formas de preparación del terreno en maíz en la Región II y III, Azuero, Panamá, 1994.

Cuadro 2. Tipo de sembradora y método de siembra utilizada en la II coa 1993 en maíz, por región, Azuero, Panamá, 1994.

Tipo de sembradora	Región I		Región II		Región III	
	No.	%	No.	%	No.	%
1. De plato	1	2.08	15	55.6	8	40.0
2. Convencional	13	27.08	11	40.7	12	60.0
3. Cero Labranza	34	70.84	1	3.7	-	-
4. No sabe	-	-	-	-	-	-
Total	48	100.0	27	100	20	100.0
Siembras con sembradoras	48	92.3	27	58.7	20	83.3
Siembras a chuzo	4	7.7	19	41.3	4	16.7
Total	52	100.0	46	100.0	24	100.0

Cuadro 3. Tipos de cambios realizados en la preparación del suelo en maíz en los últimos seis años, Región I, Azuero, Panamá, 1994.

Descripción de los Cambios	No.	%		
			Antes	Ahora
1. Araba y rastreaba; o varios pases de Semi Roma	19	36.5	Uno o dos pases de Semi Roma	
2. Araba y rastreaba; o varios pases de Semi Roma	15	28.8	Cero Labranza (uso de quemantes)	
3. Araba y rastreaba	6	11.5	Tres pases de Semi Roma	
4. Chapeo mecánico o quemantes	1	2.0	Varios pases de Semi Roma	
	11	21.2	No efectuaron cambios	
TOTAL	52	100.0		

Cuadro 4. Tipos de cambios realizados en la preparación del suelo en maíz en los últimos seis años, Región II y III, Azuero, Panamá, 1994.

Descripción de los cambios	Antes	Ahora	Región II		Región III	
			No.	%	No.	%
1. Araba y rastreaba	Uno o dos pases de Semi Roma	8	17.4	5	20.8	
2. Araba y rastreaba	Cero Labranza (uso de quemantes)	3	6.5	1	4.2	
3. Araba y rastreaba	Tres pases de Semi Roma	6	13.0	4	16.6	
4. Varios pases de Semi Roma	Arado y rastra	3	6.6	3	12.5	
5. Chapeo manual o quemantes	Arado y rastra	1	2.2	--	--	
6. Otros cambios	--	--	--	--	1	4.2
7.	No han cambiado	25	54.3	10	41.7	
TOTAL		46	100.0	24	100.0	

En las regiones II y III, los cambios verificados no han sido tan dinámicos comparados con la región I, ya que solamente alrededor de un 50% de los productores han cambiado sus métodos de preparación del suelo en los últimos seis años. La rapidez con que se han dado estos cambios ha variado un poco a nivel de las regiones II y III. Por ejemplo, en la región II, el 90% de los que han cambiado, lo han realizado en los últimos tres años; en comparación con la región III donde los cambios los han efectuado de 3 a 5 años atrás. Esto puede atribuirse a lo siguiente. La Región II corresponde a las áreas de Los Santos y Macaracas que están más cercanas a las áreas de la región I donde

el proceso de adopción ha sido más dinámico. Esto se ha dado a pesar de que la transferencia o difusión de la tecnología ha sido más escasa en comparación con el resto de las regiones. Por otro lado, en el caso de Parita, que geográficamente está más alejado de la región I y II, se impulsaran estas tecnologías de conservación, como parte de un programa de transferencia años atrás; sin embargo, no se han dado las condiciones de disponibilidad de sembradoras de cero labranza que permita avanzar en este proceso.

En cuanto a los tipos de cambios en la preparación del suelo experimentados en las Regiones II y III, se

puede señalar que los más relevantes se refieren a la eliminación del arado, y la incorporación de las Semi Romas, con uno o varios pases, Cuadro 4.

Respecto a las tecnologías de la labranza de conservación, objeto de este estudio se obtuvo niveles de adopción de 17.4 y 20.8%, en la región II y III respectivamente, en el uso de la mínima labranza, principalmente con la utilización de dos pases de Semi Roma, Cuadro 4. Por otro lado, se encontró en las regiones II y III porcentajes muy bajos de adopción de la cero labranza, de 4% solamente. Este porcentaje de adopción es mucho menor que el porcentaje de productores que utilizan actualmente el sistema de cero labranza en la producción de maíz en estas regiones.

Esto indica que, hay un grupo de productores (6) que realizan la cero labranza tradicional, es decir, uso de herbicidas quemantes o chapeo manual y siembras a chuzo sin haber sido sujetos de un proceso de cambio tecnológico de la labranza convencional a la cero labranza.

Otros cambios tecnológicos asociados con la tecnología de la labranza de conservación

La tecnología de cero labranza fue asociada inicialmente con la utilización de insecticidas como el tratamiento a la semilla, por la mayor presencia de plagas como la gallina ciega que podrían darse con la mayor cantidad de residuos en el suelo, y agudizado por los efectos del componente ganadero que caracteriza este sistema. Al respecto, el estudio demostró que no hay una asociación significativa en el uso de insecticidas del suelo entre los productores que adoptaron la cero y mínima labranza y aquellos que no adoptaron. Se observa en el Cuadro 5 que, del total de productores que utilizaron insecticidas el 47.27% fueron adoptadores de la labranza de conservación y el 52.73% no adoptaron; por lo que no hay una relación directa entre adoptadores y utilización de insecticidas.

Otro de los aspectos que se relacionó con la tecnología de la cero labranza, fue la creencia de que el uso de esta tecnología podría disminuir a corto plazo los rendimientos. Al respecto, y contrariamente a lo considerado, el estudio demostró que hay diferencia significativa entre las medias de rendimiento de maíz de los productores que adoptaron la labranza de conservación y aquellos que no adoptaron, Cuadro 6.

Se encontró una ligera tendencia a incrementar los rendimientos de las parcelas donde se adoptó la cero y mínima labranza, aunque no se tiene evidencia que los mismos obedecen al uso de la labranza de conservación. El rendimiento promedio entre productores que utilizaron la labranza de conservación ascendió a 76 qq/ha; en comparación con 64 qq/ha en aquellos productores que no adoptaron, Cuadro 6.

Curvas de Difusión de la Labranza de Conservación

Los niveles de adopción de la mínima y cero labranza son muy diferentes a nivel de las regiones estudiadas. En las Regiones II y III se ha adoptado parcialmente la mínima labranza, no así la cero labranza; en comparación con la Región I (Las Tablas, Pedasí, Pocrí y Guararé) donde se ha dado un alto nivel de adopción de la mínima y cero labranza, Fig. 6

Lo anterior, permitió calcular las curvas de difusión de la labranza de conservación (cero y mínima) para la región I, Fig. 7, y para las regiones II y III, Fig. 8 Para estimar la curva de difusión de la adopción de la labranza de conservación (mínima y cero) se utilizó la curva logística descrita en la sesión metodológica de este documento.

Cuadro 5. Utilización de insecticidas a la semilla de maíz entre adoptadores y no adoptadores de la labranza de conservación, Azuero, Panamá, 1994.

Utilización de Insecticidas a la semilla	Adoptadores	No Adoptadores
Utilizaron insecticidas %	47.27	52.73
No utilizaron insecticidas %	40.00	60.00
Coefficiente Pearson	0.6176	
Chi-Cuadrado Probabilidad	0.4319	

Cuadro 6. Rendimiento promedio (t/ha) de maíz, de adoptadores y no adoptadores de la labranza de conservación, Azuero, Panamá, 1994.

Rendimiento (qq/ha)	Adoptadores	No Adoptadores
Promedio	76.24	64.49
Varianza	329.21	528.36
Estadístico t	-2.92	
Probabilidad	0.002	

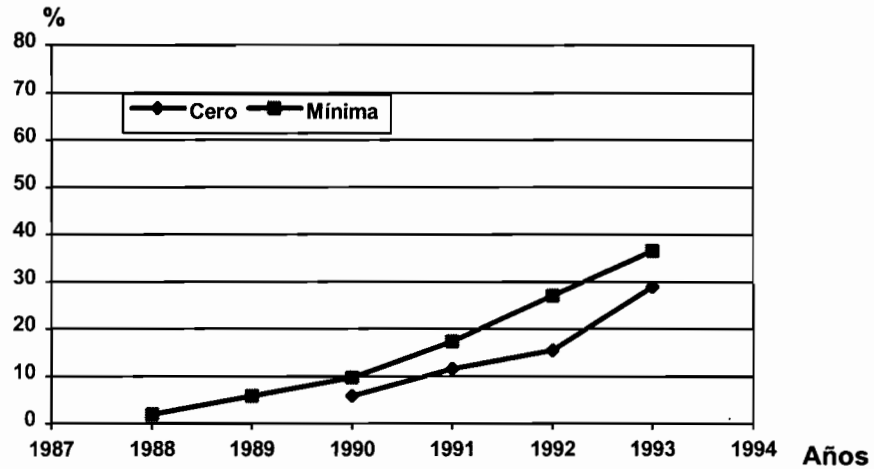


Figura 6. Porcentajes observados de adopción de cero y mínima labranza en la Región I, Azuero, Panamá

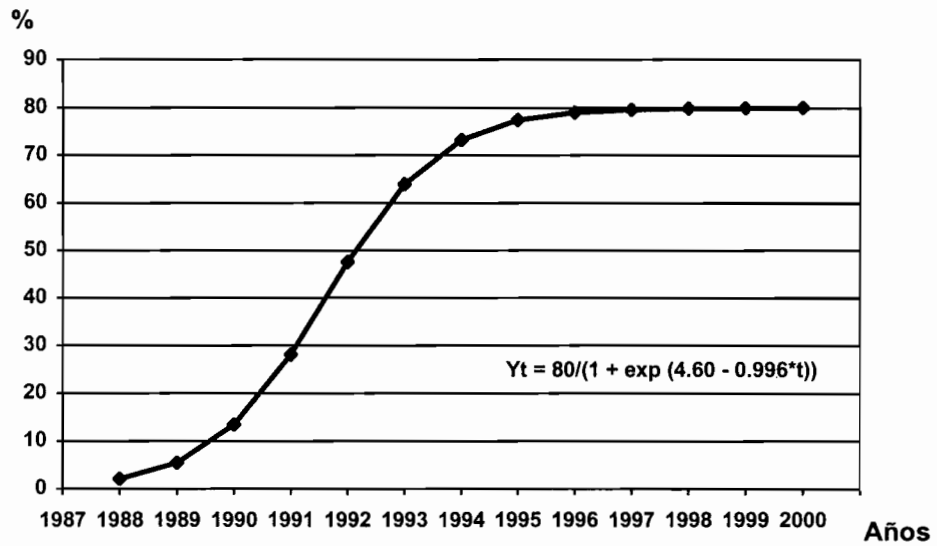


Figura 7. Difusión de la labranza de conservación (cero y mínima) en la Región I, Azuero, Panamá.

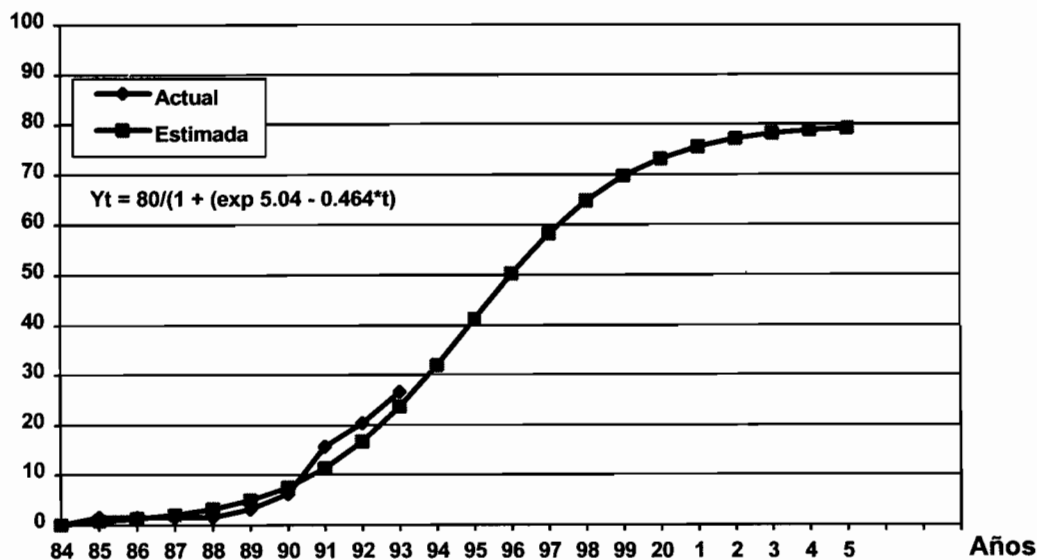


Figura 8. La adopción de la labranza de conservación (cero y mínima) en la Región II y III, Azuero, Panamá.

Respecto a la adopción de la cero labranza en la región I Fig. 6, a pesar de que los primeros trabajos de validación de la cero labranza, se inician en 1984-85, la encuesta demostró que la mayoría de los que han adoptado la cero labranza o la mínima labranza los han efectuado principalmente durante los últimos tres años con énfasis de 1990 en adelante). Esto ha permitido un aumento rápido de la curva de difusión de la labranza de conservación (cero y mínima) en estos años, Fig. 7.

El comportamiento anterior se corrobora también con la información suministrada por la empresa COPAMA, distribidora de sembradoras de maíz de cero labranza en Azuero, quien señaló que a partir de 1990 en adelante se vendieron en la Región de Azuero un total de 6 máquinas por año. Asumiendo el modelo logístico de la adopción, expresado en la Fig. 7, es de esperar un fuerte aumento en el uso de estas alternativas tecnológicas de conservación (cero y mínima) en el corto y mediano plazo.

En lo que respecta a las regiones II y III y tomando como base la curva de difusión de la labranza de conservación, Fig. 8, se espera una adopción más rápida de la mínima labranza, en relación con la cero labranza. Esto está vinculado en gran medida con la poca disponibilidad de sembradoras de cero labranza en esa área. Sin embargo, la dinámica del proceso de

adopción de la labranza de conservación, es mucho más lenta en el mediano y largo plazo, comparativamente con la Región I, Fig. 8.

Entes que Participaron en la Difusión de la Tecnología de Cero o Mínima Labranza

En el análisis de la adopción de la labranza de conservación es importante analizar quienes recomendaron la tecnología al productor, es decir, a través de qué mecanismo se difundió la misma.

Hay que partir señalando que la tecnología transferida inicialmente por parte del IDIAP y MIDA correspondió a la cero labranza; sin embargo, en la práctica los productores han realizado adaptaciones, que hemos denominado mínima labranza. En la encuesta se investigó sobre los entes que participaron en la difusión de la tecnología tanto de cero como de mínima labranza.

Se encontró una marcada diferencia a nivel de las Regiones. En la I y III se ha dado una mayor difusión de la tecnología. Un 65.4 y 79.2% de los productores encuestados señalaron que le habían recomendado esta tecnología; en tanto que, en la Región II solamente un 45.6% indicó que conocían esta práctica, Cuadro 7.

Cuadro 7. Recomendación del uso de la cero o mínima labranza, en maíz, Azuero, Panamá, 1994.

Descripción	Región I		Región II		Región III	
	No.	%	No.	%	No.	%
1. Le han recomendado	34	65.4	21	45.6	19	79.2
1.1. MIDA	6	17.7	1	4.8	5	26.3
1.2. IDIAP	8	23.5	1	4.7	5	26.3
1.3. Otro productor	20	58.8	19	90.5	9	47.4
Sub Total	34	100.0	21	100.0	19	100.0
2. No le han recomendado	18	34.6	25	54.4	5	20.8
Total	52	100	46	100	24	100

Lo anterior tiene su explicación en el hecho de que en la Región I y III las instituciones de investigación y extensión del sector público (MIDA e IDIAP) desarrollan un programa de extensión de esta tecnología a los productores, a través de diferentes tipos de eventos, tales como: parcelas demostrativas, giras de campo y charlas tanto para técnicos como para productores. En la Región II, no se dio por parte de estas instituciones un programa de transferencia, es por esto que aquellos que reportaron que conocían la tecnología, señalaron que se las había recomendado otro productor. En la región I, a pesar del esfuerzo institucional inicial, se dio una participación significativa de los productores en la transmisión de los conocimientos sobre la nueva tecnología (58.8%), Cuadro 7.

Un factor importante que influyó positivamente en la transferencia de la tecnología en estas áreas se refiere al hecho de que quienes inician el proceso de cambio hacia la cero o mínima labranza correspondió en gran medida a productores líderes en esa zona. Estos productores generalmente grandes, son los que inicialmente introducen las sembradoras cero labranza y quienes también alquilan maquinaria agrícola, ejerciendo una influencia sobre el resto de productores de maíz.

En la Región III, a diferencia de la I, a pesar de que se dio un proceso de transferencia de la tecnología, los productores líderes y dueños de maquinaria no han adoptado la cero labranza, y por lo tanto no han influido sobre el resto de productores.

Razones de Por Qué utilizan la Cero y Mínima Labranza en Maíz

Se investigó sobre las opiniones expuestas por los productores en torno al por qué han cambiado los métodos de preparación del suelo. En la región I, las razones señaladas por los productores como explicativas del uso de la cero y mínima labranza, se presentan en la Fig. 9.

En opinión de los productores el principal factor (46% de las respuestas) que los ha inducido al uso de la cero o mínima labranza corresponde a la reducción de costos, respecto a la labranza convencional. La reducción de costos de producción/ha utilizando la cero o mínima labranza, varía dependiendo del método o forma de preparación, es decir, del número de pases de Semi Roma y del tipo de herbicida quemante utilizado, principalmente. La preparación del terreno utilizando herbicida Round-up, implica una reducción de costos en comparación con la labranza convencional de aproximadamente B/.50.00/ha. Esto representa una disminución alrededor del 8% de los costos totales de producción.

El uso de la labranza mínima con un pase de Semi Roma y aplicando posteriormente el Round-up, disminuye los costos de preparación respecto a la labranza convencional en aproximadamente B/.32.00/ha. Es importante destacar la importancia que asignan los productores a los efectos inmediatos o de corto plazo que tiene la tecnología de mínima o cero labranza, respecto a los de largo plazo como es la conservación del suelo y que constituye una de las principales ventajas del uso de esta tecnología.

Solamente, un 26% de las respuestas de los productores correspondieron a factores de conservación del suelo, específicamente razones vinculadas con la disminución de la pérdida del suelo, al utilizar la cero o mínima labranza en comparación con la labranza convencional.

El hecho de que los productores le dan mayor importancia a la reducción de costos, sobre aspectos de conservación de suelos, está vinculado con la tenencia de tierra en esta Región, donde un porcentaje considerable (48%) de las mismas son alquiladas durante el ciclo del cultivo.

Una de las razones indicadas en menor medida por los productores como explicativas del por qué están utilizando la cero o mínima labranza, correspondió a un control más efectivo de las malezas. El uso de la labranza convencional o de la Semi Roma en campos infestados de pimentilla (*Cyperus Rotundus*) incorpora y disemina la misma, permitiendo una acentuación del problema. Mientras que, en el sistema de cero labranza, al no preparar el suelo y aplicar el Round-up, se, obtiene un bajo porcentaje de germinación de la misma, y después de varios años de usar este sistema se reduce considerablemente la pimentilla.

A pesar de que en la Región II y III los niveles de adopción fueron bajos y por lo tanto la cantidad de respuestas también; se investigó a aquellos que habían realizado cambios en la preparación del suelo. El comportamiento de los productores en estas Regiones fue diferente a la Región I. Se encontró un mayor porcentaje de respuestas señalando la conservación de los suelos como razón para realizar las disminuciones en las labores de preparación del suelo en las Regiones II y III.

En estos estratos arriba de un 70% de las parcelas utilizadas son propias, además son productores con áreas de producción más pequeñas y con mayores limitaciones de recursos que los productores de la Región I. Esto definitivamente que lleva a tomar una mayor conciencia por parte de los productores de la necesidad de conservar el recurso tierra.

Por otro lado, hay una clara identificación de las ventajas que ofrece la mínima y cero labranza a corto plazo, al reducir los costos de producción respecto a la labranza convencional.

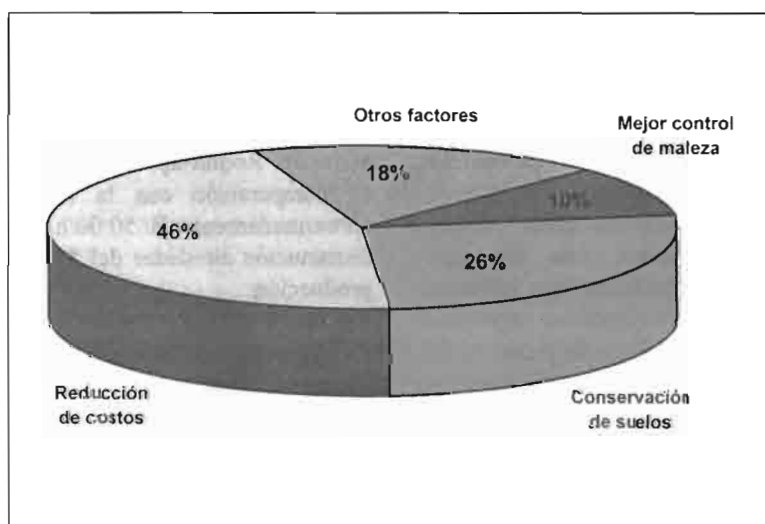


Figura 9. Opiniones de los productores sobre el por qué utilizan la mínima o cero labranza en maíz, Región I, Azuero, Panamá.

Razones de Por Qué no utilizan la Cero y Mínima Labranza en Maíz

En la Región I, el pequeño grupo de productores que no efectúan la cero o mínima labranza señalaron como factores explicativos los siguientes: el desconocimiento de la tecnología (26%); problemas con el terreno (26%), y la poca disponibilidad de sembradora apropiada para esta tecnología (27%), aunque este último factor fue señalado en un área muy específica más cercana a la Región II que al resto de las áreas de la Región I.

Es importante señalar que la encuesta permitió detectar también la desadopción o los problemas confrontados por los productores en el uso de la tecnología de cero labranza. Se encontró que un mínimo porcentaje de los productores de la Región I (7.7%), reportaron que había confrontado algún problema al utilizar la cero labranza, principalmente con el tipo de terreno. Estos productores generalmente pasaron de la cero a la mínima labranza.

El análisis de las razones de por qué no utilizan la cero o mínima labranza es de mayor importancia en las Regiones II y III, donde fue menor el porcentaje de adopción. Al respecto, y tal como se aprecia en el Cuadro 8 el factor más importante (alrededor del 50% de las respuestas) corresponde a la falta de sembradoras de cero labranza en el área. Al respecto se encontró que el 72 y 88% de los productores de la Región II y III, respectivamente, no tienen acceso a sembradoras cero labranza en el área.

Otro factor importante señalado en la región II, se refiere al desconocimiento de la tecnología. De las tres regiones estudiadas, en la ésta no se dio un proceso de transferencia dirigido de esta tecnología por parte de las instituciones vinculadas al sector agropecuario.

Un aspecto que merece atención se refiere también al factor señalado en la región III, donde a pesar de que se dio un proceso de transferencia de esta tecnología por parte del MIDA, los productores no han adoptado porque disponen de maquinaria de preparación convencional (incluyendo las sembradoras), y por lo tanto no han cambiado el método. Un 20% del total de respuestas de esta región plantearon que tenían maquinaria convencional, Cuadro 8.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADOPCIÓN DE LA LABRANZA DE CONSERVACIÓN

Factores que Afectan la Decisión de Adopción

Se analizan individualmente los factores que han incidido en la adopción de la cero y mínima labranza en Azuero. La elección de los factores se realizó en base al conocimiento del proceso de adopción en esta zona y los factores reportados por la literatura en este tipo de estudio.

Los distintos factores que han influido en la adopción de la labranza de conservación pueden agruparse en tres grupos:

Cuadro 8. Opiniones de los productores sobre el por qué no han utilizado la cero o mínima labranza en maíz, Región II y Región III, Azuero, Panamá, 1994.

Por qué no han utilizado la mínima o cero labranza?	Región II		Región III	
	No.	%	No.	%
1. No hay máquina sembradora	18	46.2	10	50.0
2. Tiene maquinaria convencional	2	5.1	4	20.0
3. Desconoce la tecnología	8	20.5	2	10.0
4. Problemas con el terreno	4	10.3	2	10.0
5. Otros factores	7	17.9	--	--
6. No le gusta el sistema	--	--	2	10.0
Total de respuestas	39	100.0	20	100.0

a) *Factores vinculados con las características de la parcela y de la finca.*

Tenencia de la Tierra

La forma de tenencia de la tierra es un factor que puede influir en la adopción de tecnologías como la labranza de conservación las cuales tienen efectos a largo plazo sobre la calidad y conservación del suelo. Se debe esperar que aquellos productores que tienen posesión sobre la tierra pueden estar mayormente interesados en adoptar tecnologías que a mediano o largo plazo conserven el recurso tierra; en comparación con aquellos productores que alquilan tierras durante el ciclo del cultivo.

El análisis individual de esta variable, tomando como base los datos de la encuesta, no demostró sin embargo, una asociación importante con la adopción de la labranza de conservación. La explicación de este resultado puede atribuirse al hecho de que en la Región I donde se ha dado un mayor grado de adopción un porcentaje considerable de productores alquilan terrenos, en comparación con las otras dos regiones donde el porcentaje de adopción ha sido menor y los productores son mayormente propietarios de sus tierras.

No obstante, entre las razones expuestas por los productores de por qué han adoptado la cero o mínima labranza, se encontró un mayor porcentaje de productores propietarios que señalaron la conservación de suelos; en comparación con aquellos productores que alquilan terrenos.

Compactación del Terreno

El grado de compactación del terreno es un factor que puede influir negativamente en la adopción de tecnologías que implican no remover el suelo, como es la cero labranza.

El promedio de reses/ha, como indicador de la compactación del terreno, fue ligeramente superior entre los no adoptadores respecto a los adoptadores; sin embargo, en la prueba de medias no fue significativa.

Disponibilidad y Acceso de Maquinaria

La adopción de la tecnología de la labranza de conservación implica la necesidad de contar con sembradoras apropiadas a este sistema; y por otro lado,

va a estar afectada negativamente por la tenencia de maquinaria convencional. La probabilidad de adoptar la tecnología de labranza de conservación debe ser muy baja entre productores que ya poseen maquinaria convencional; en comparación con productores que no disponen de estas maquinarias.

En el análisis individual de estas variables y su nivel de asociación con la adopción de la labranza de conservación se encontró una relación positiva altamente significativa en la prueba de Chi-Cuadrado entre los niveles de adoptadores y el acceso a sembradoras de cero labranza, Cuadro 9.

Por otro lado, y consecuentemente con lo esperado, se obtuvo también una relación significativa entre la tenencia de maquinaria convencional y la no adopción, Cuadro 10.

b) *Factores vinculados con los ingresos o recursos del productor*

Las dos variables siguientes se han tomado como indicadores del nivel de recursos, riqueza o ingresos que tiene el productor. Generalmente los productores con mayores niveles de recursos, pueden ser los primeros en adoptar tecnologías como la de labranza de conservación.

Cuadro 9. Disponibilidad y acceso de sembradoras cero labranza y niveles de adopción de labranza de conservación, Azuero, Panamá, 1994.

Acceso a sembradoras	Adoptadores	No adoptadores
Tienen (%)	63	37
No tienen (%)	26.3	73.7
Coefficiente Pearson Chi-Cuadrado	15.73	
Probabilidad	0.001	

Cuadro 10. Tenencia de maquinaria convencional y niveles de adopción, de la labranza de conservación, Azuero, Panamá, 1994.

Tenencia de maquinaria convencional	Adoptadores	No adoptadores
Tienen propiedad %	17.65	82.35
No tienen propiedad %	47.96	52.04
Coefficiente Pearson		
Chi-cuadrado	5.417	
Probabilidad	0.020	

Esto implica el uso de una nueva maquinaria sembradora o la compra de discos especiales para adaptar a las sembradoras convencionales.

Los productores con mayor recursos son generalmente también los mayormente integrados al mercado, los que tienen mayor acceso a los créditos, los que están más dispuestos a asumir riesgos y tienen un criterio más empresarial. Estos son factores que pueden influir positivamente en la adopción de nuevas tecnologías como la labranza de conservación, cuyos efectos inmediatos de reducción de costos de producción, es uno de los aspectos priorizados en estos tipos de productores, al momento de incorporar nuevas tecnologías.

Las variables consideradas en este punto corresponden a la cantidad de ganado que posee el productor y la superficie sembrada de maíz. La comparación de medias de estas variables entre los adoptadores y no adoptadores, utilizando los datos empíricos, demuestran lo siguiente. Tal como se esperaba, entre productores de mayores recursos económicos (mayor cantidad de reses y mayores superficies sembradas) se ha dado mayor adopción que entre productores de menores recursos. Se encontró una diferencia estadística significativa entre la superficie total promedio sembrada de maíz de los adoptadores, comparado con los no adoptadores, Cuadro 11. De igual manera, la cantidad de reses promedio de los adoptadores fue diferente estadísticamente al 11%, al promedio de reses que poseen los no adoptadores, Cuadro 12.

c) Factores vinculados con características del productor

Un factor muy importante que influye en la adopción de una determinada tecnología se refiere al nivel de información o conocimiento que tiene el productor sobre esta tecnología. Se espera una relación directa entre el manejo de la información de la labranza de conservación y el nivel de adopción de esta tecnología.

El análisis individual de esta variable con los niveles de adopción, tomando como base los datos de la encuesta, señala que hay una relación positiva entre el acceso que tuvo el productor a la información sobre la tecnología de cero labranza y los niveles de adopción (probabilidad al 15%), Cuadro 13.

Cuadro 11. Promedio de superficie total sembrada de maíz adoptadores y no adoptadores de labranza de conservación, Azuero, Panamá, 1994.

Superficie sembrada (ha)	Adoptadores	No adoptadores
Promedio	42.18	21.03
Varianza	993.55	5,062.88
Estadístico t	-2.141	
Probabilidad	0.017	

Cuadro 12. Promedio de reses de adoptadores y no adoptadores de la labranza de conservación, Azuero, Panamá, 1994.

Cantidad de reses	Adoptadores	No adoptadores
Promedio	75.3	53.9
Varianza	14,088.1	4,621.8
Estadístico t	-1.220	
Probabilidad	0.113	

Cuadro 13. Acceso a información y niveles de adopción de la labranza de conservación, Azuero, Panamá, 1994.

Acceso a información	Adoptadores	No Adoptadores
Tienen (%)	48.61	51.39
No tienen (%)	34.88	65.12
Coficiente Pearson	2.064	
Chi-cuadrado		
Probabilidad	0.151	

Los resultados obtenidos son consistentes con las diferencias regionales encontradas en el proceso de adopción de la cero y mínima labranza. Por ejemplo en la Región III, a pesar de que hubo un proceso de transmisión de conocimientos o información, no se dio adopción de cero labranza, ya que otros factores como la no accesibilidad a sembradoras cero labranza ejercieron mayor influencia en la adopción.

EL MODELO LOGÍSTICO DE ADOPCIÓN DE LA LABRANZA DE CONSERVACIÓN

Descripción del Modelo

Se analizan los efectos simultáneos de los factores que afectan la decisión de adopción, así como de otros factores que pueden afectar la decisión de adoptar la labranza de conservación.

Para medir estos efectos simultáneos se utilizó un modelo logístico multivariado, el cual se expone a continuación:

$$\text{ADOPCION} = \beta_0 + \beta_1 \text{TENENCIA} + \beta_2 \text{TOPO} + \beta_3 \text{COMPACT} + \beta_4 \text{DISPSEMBCERO} + \beta_5 \text{MAQCERO} + \beta_6 \text{MAQCONV} + \beta_7 \text{LN RESES} + \beta_8 \text{LNSUPTOPRO} + \beta_9 \text{INFORMA}.$$

El modelo incluye variables relacionadas con las características de la parcela de maíz y la finca en general, así como las vinculadas con los recursos o ingresos del productor y algunas características del productor como es el manejo de la información. Un resumen de las estadísticas básicas de la muestra de cada una de las variables utilizadas en el modelo logístico se detalla en el Cuadro 14.

La descripción de las variables del modelo arriba descrito, se realiza seguidamente.

ADOPCIÓN: La adopción de la labranza de conservación fue medida como aquellos productores que utilizaron la mínima o cero labranza (tal como ha sido definida en este documento) en el ciclo agrícola 1993-94; y que cambiaron el método de preparación del suelo en los últimos seis años. Este cambio se refiere al reemplazo del sistema convencional de preparación del suelo (principalmente arado y rastra) por el sistema de mínima o cero labranza. Esta definición de adoptadores implica que los productores que durante el ciclo 1993-94 utilizaron la cero labranza tradicionalmente, pero que no han sido sujetos de un proceso de cambio en el sistema de preparación, son excluidos de la muestra.

a) Variables Vinculadas con las Características de la Parcela y de la Finca.

TENENCIA: Esta variable asumió el valor de 1 cuando la parcela más grande de maíz era propiedad del productor; y de 0 cuando correspondía a otra forma de tenencia (alquilada, principalmente).

TOPO: La topografía de la parcela fue considerada en el modelo como un factor que puede influir en la decisión de adoptar la labranza de conservación. Esta variable tomó el valor de 1 cuando la topografía de la parcela era plana, y de 0 cuando la parcela era ondulada o muy inclinada. Esto respondió al hecho de que es de esperar que en las áreas más planas se ha dado una mayor incorporación del sistema de labranza convencional, y con ello un mayor problema de lavado del suelo y erosión por exceso de laboreo.

COMPACT: Esta variable refleja el grado de compactación del terreno. Fue medida como la cantidad de reses que posee el productor/total de hectáreas sembradas de maíz. Este es un indicador de la presión de pastoreo a que está sujeta la parcela.

DISPSEMBCERO: La disponibilidad o acceso a sembradoras aptas para sembrar bajo el sistema de cero labranza fue un factor evaluado en el modelo. Esta variable tomó el valor de 1 cuando había accesibilidad o disponibilidad de sembradoras en cero labranza, en el área donde estaba ubicada la parcela, en tanto que, es 0 cuando no hay disponibilidad. Esta variable incluye tanto las sembradoras de cero labranza, así como las sembradoras convencionales con discos adaptados para siembras en cero labranza. La adopción de la labranza de conservación requiere la disponibilidad de sembradoras.

MAQCERO: Variable cualitativa que refleja la tenencia por parte del productor de sembradora de cero labranza y de Semi Roma asumiendo el valor de 1 cuando es propietario y 0 cuando no tiene esta maquinaria.

MAQCONV: Esta variable se refiere a la tenencia de maquinaria de preparación y siembra convencional, específicamente el arado, y sembradora convencional. La variable tomó el valor de 1 cuando el productor era propietario de alguna de esta maquinaria y de 0 cuando no tenía propiedad sobre estas maquinarias. Por lo tanto, debe esperarse una relación negativa entre la propiedad de maquinaria convencional y la decisión de adoptar la cero labranza.

b.) Variables Vinculadas con los Ingresos o Recursos del Productor.

LN RESES: Logaritmo natural de la cantidad de reses que tiene el productor de maíz. Se espera que la posesión de ganado, como un indicador de recursos del productor, tenga una relación positiva con la decisión de adoptar la tecnología de labranza de conservación.

LNSUPTOPRO: Esta variable está constituida por la interacción de la superficie total sembrada de maíz y la tenencia de dicha superficie. La variable se constituyó de la siguiente manera:

LNSUPTOPRO = (logaritmo natural de la superficie total sembrada de maíz) * (variable cualitativa de tenencia, igual a 1 cuando la superficie era propia, y 0 para otros tipos de propiedad).

c) *Variable Relacionada con Características del Productor*

INFORMA: Esta variable cualitativa asumió el valor de 1 cuando el productor ha tenido acceso a la información de la tecnología de labranza de conservación, y 0 cuando no ha tenido. El acceso a la información se refiere al hecho de si el productor recibió la recomendación de la tecnología, ya sea de parte de las instituciones de investigación y extensión que promovieron dicha tecnología, así como de otros productores.

Resultados Empíricos

Los parámetros estimados del modelo de adopción de la labranza de conservación se presentan en el Cuadro 15. En términos generales, el modelo logístico estimado para los datos fue significativo (prob=0.0001) de acuerdo a la prueba de "Likelihood Ratio Chi-Square". Esto significa que las variables seleccionadas

explican o influyen en la decisión de adoptar la labranza de conservación. Cinco de las nueve variables explicativas de la adopción fueron significativas al nivel del 5% o menos (Cuadro 15). En cuanto al tipo de relación de estas variables con la decisión de adopción, reflejada en los signos de los coeficientes, se puede señalar que fueron satisfactorios. Con excepción de la variable LNSUPTO PRO, todas la demás tienen los signos esperados.

A nivel de las variables individuales, se observa que las vinculadas con la accesibilidad o tenencia de maquinaria tanto de cero labranza como convencional, influyen de manera muy significativa (Prob. de 0.01 o menos) en la decisión de adoptar la labranza de conservación. Este comportamiento era esperado ya que por un lado, la accesibilidad a la maquinaria de cero labranza es básica en la adopción de esta tecnología; y por otro lado, para los propietarios de maquinaria convencional como el arado y sembradora, la adopción de la labranza de conservación representaría una tecnología muy costosa.

Cuadro 14. Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en el modelo de adopción de la labranza de conservación en Azuero, Panamá, 1994.

Variables Cuantitativas				
Variable	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
LN RESES	3.037	0.173	0	6.40
LN SUPTOT PRO	1.311	0.138	0	5.56
COMPACT (RESES/ha)	7.133	1.086	0	60
Variables Cualitativas				
	Mínimo	Máximo	%	
			0	1
ADOPCIÓN	0	1	56	44
TENENCIA	0	1	35	65
TOPO	0	1	30	70
DISPSEMBCERO	0	1	53	47
MAQCERO	0	1	78	22
MAQ CONV	0	1	85	15
INFORMA	0	1	37	63

La variable tenencia también fue significativa en el modelo tal como lo reporta la literatura, se encontró una relación directa significativa entre la propiedad de la parcela de maíz y la adopción de prácticas de conservación (cuyos efectos principales pueden medirse a mediano o largo plazo) como la mínima o cero labranza. Variables que caracterizan la parcela como la topografía del terreno y la compactación fueron significativas solamente al 15%. Se obtuvieron las relaciones esperadas.

En la variable LN RESES utilizada como indicador de los ingresos o recursos del productor, se obtuvo la relación positiva esperada; sin embargo, no fue significativa. Otra de las variables indicativas de recursos, LNSUPTOPRO, a pesar de que fue significativa al 3% mostró un signo negativo no esperado.

Se corroboró la relación positiva entre el manejo de la información de la cero labranza y la adopción de esta tecnología. No obstante, no fue significativa esta relación.

CONCLUSIONES

1. Las formas actuales de preparación del suelo y la siembra del maíz varían considerablemente a nivel de las regiones maiceras estudiadas. El proceso de cambio tecnológico en estos componentes en los últimos años, también ha sido diferenciado. En general, a nivel de las tres regiones el cambio más importante lo ha constituido el proceso hacia la progresiva eliminación del arado y la reducción en el número de pases de rastra. En el caso de la Región I, el otro cambio importante ha correspondido al uso de herbicidas

quemantes, sin labores previas al suelo y la siembra con sembradoras para suelos no preparados, conocida como cero labranza. Esta última práctica que fue la tecnología transferida por IDIAP/MIDA inicialmente, ha sufrido adaptaciones por parte de los productores. La más importante ha consistido en la realización de uno o dos pases de Semi Roma, seguido de la aplicación de un herbicida quemante y posteriormente la siembra con maquinaria de cero labranza o convencional, y a la cual denominamos mínima labranza.

2. Los grados de adopción de la cero o mínima labranza, definida en este estudio como labranza de conservación, han variado significativamente a nivel de las regiones. En la Región I se encontraron niveles de adopción del 29% en cero labranza y de 37% en labranza mínima; en tanto que, en la Región II y III el nivel de adopción de la cero labranza ha sido muy bajo, y en un porcentaje considerable (27%) han adoptado la mínima (principalmente con dos pases de Semi Roma).

3. Las variaciones en los grados de adopción de la labranza de conservación encontrados a nivel de las regiones son explicadas principalmente por las diferencias regionales en los diferentes factores que inciden en el proceso de adopción. Los factores que influyeron positivamente en la decisión de adoptar la labranza de conservación correspondieron a la accesibilidad o tenencia de maquinaria de cero labranza; el manejo o nivel de información que poseen los productores sobre la tecnología; la tenencia de la tierra; la topografía plana del terreno y los mayores recursos de los productores medidos a través de indicadores como la superficie sembrada y el número de reses.

Cuadro 15. Parámetros estimados y estadísticos relativos al modelo de adopción de la labranza de conservación, Región de Azuero, Panamá, 1994

Variable	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor de t	p>/t/
CONSTANTE	-2.9958	0.8335	-3.5944	0.001
TENENCIA	2.2999	0.9358	2.4576	0.015
TOPO	0.7427	0.5110	1.4535	0.149
COMPACT (RESES/ha)	-0.0449	0.0299	-1.5011	0.136
DISPSEMBCERO	1.8974	0.5557	3.4143	0.001
MAQCERO	2.8997	1.2087	2.3991	0.018
MAQCONV	-4.1940	1.3701	-3.0611	0.003
LN RESES	0.1796	0.1734	1.0357	0.303
LN SUPTOPRO	-0.7004	0.3167	-2.2117	0.029
INFORMA	0.6480	0.5255	1.2332	0.220

Likelihood Ratio Chi-Square: 39.930; con 9 g.l., y prob. =.0001

Entre los factores que influyeron negativamente en la decisión de adoptar la labranza de conservación, sobresalieron la tenencia de maquinaria convencional y la compactación del terreno.

4. La creencia de que la práctica de la mínima o cero labranza, en comparación con la labranza convencional, va asociada con un mayor uso de insecticidas (por la mayor presencia de insectos del suelo, como la gallina ciega), fue descartada. De igual manera, se corroboró que los rendimientos a corto plazo no son afectados negativamente por el uso de la labranza de conservación.

5. Aunque los productores reconocen la participación que ha tenido el MIDA e IDIAP en el proceso de transferencia de la tecnología de labranza de conservación, el estudio demostró que el mecanismo que más se utilizó en la transmisión de esta tecnología fue la de productor a productor.

6. Las razones expuestas por los productores como explicativas del uso de la mínima y cero labranza corresponde a la reducción de costos de producción, conservación de los suelos y un mejor control de las malezas.

7. Del estudio de adopción efectuado se desprenden algunas implicaciones a nivel de investigación. Por un lado, la consideración de un grupo de productores de que no efectúan la cero labranza por problemas del terreno, los cuales pueden estar asociados también con un mayor nivel de compactación del suelo, sugiere la necesidad de investigar con mayor detalle los suelos y los niveles de compactación de los mismos, en las parcelas de maíz de estos productores identificados. Esta permitirá caracterizar las limitaciones reales que el tipo y manejo de suelo tienen sobre las utilidades de la cero labranza. La caracterización adecuada de estos aspectos ayudaría a evaluar mejor el futuro potencial de la cero labranza en la zona y sobre todo analizar con más elementos la posibilidad de que los productores que realizan actualmente la mínima labranza cambien a la cero labranza.

8. Otro de los componentes que merece efectuar investigación de acuerdo a los resultados encontrados, se refiere al componente de malezas (principalmente la *Cyperus rotundus*) y la vinculación con el uso de la labranza de conservación, utilizando aquellos productores que reportaron que utilizaron esta tecnología, para obtener un mejor control de malezas.

9. Del estudio se desprende también la necesidad de investigar los efectos a través del tiempo, del uso de la cero labranza sobre la conservación de los suelos, medido a través de los cambios en rendimientos y algunos parámetros de propiedades del suelo. En este sentido los resultados del estudio de adopción constituirían el punto inicial o la base de la investigación de medición de los efectos de la labranza a largo plazo.

10. Las principales implicaciones del estudio en materia de transferencia y extensión, diferenciadas por regiones son las siguientes:

- a) En la Región II se requiere un mayor esfuerzo de transferencia a los productores de la tecnología de cero y mínima labranza, ya que poseen un alto potencial para la adopción de este sistema. Por ejemplo: son en su mayoría propietarios de sus tierras; un porcentaje considerable siembran a chuzo (lo que no les crea dependencia de la disponibilidad de las sembradoras de cero labranza para la adopción de la tecnología); un gran porcentaje desconoce la tecnología; los suelos son más inclinados en comparación con las otras áreas; y finalmente, prevalecen los productores que todavía realizan la labranza tradicional, es decir, no practican o no han entrado a la era de la mecanización, aunque, la cercanía a la Región I los expone a esta tecnología mecanizada, y a un mayor dinamismo en este proceso.
- b) En la Región I y II se hace necesario continuar con el programa de extensión de la tecnología de cero labranza, con miras a dirigir el proceso de cambio del uso de la mínima hacia la cero labranza. De igual manera, debe hacerse énfasis en la extensión de otros aspectos vinculados con la labranza de conservación, como por ejemplo el manejo del suelo y de los residuos, de tal manera que los productores se sensibilicen de las ventajas e importancia a más largo plazo, de la labranza de conservación, y no la vinculen principalmente con efectos a corto plazo como es la reducción en los costos de producción.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Ing. Miguel Sarmiento en la selección de la muestra. Agradecen también la colaboración de los ingenieros Nivaldo De Gracia y Raúl González y de los agrónomos Andrés González y Jorge Franco, técnicos

del Programa de Maíz del IDIAP, Azuero; en la aplicación de las encuestas a los productores de maíz.

REFERENCIAS

Casley, Dennis J; K. Kimar. Recopilación, análisis y uso de los datos de seguimiento y evaluación. Banco Mundial, Fondo Internacional de Desarrollo Agrario, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa, Castelló, 37. Madrid, España. 1990. 176 pág.

Kilmer, V. Handbook of soils and climate agriculture. CRC press, Boca Raton, Fl. Tomado de Barreto Héctor y col. Labranza de conservación en maíz. Documento de trabajo CIMMYT - PROCIANDINO.

Ministerio de Desarrollo Agropecuario. Registro estadístico de productores, parcelas y hectareajes sembradas de maíz en la región de Azuero. Año 1993.

Pereira de Herrera, Adys; C. Durán; I. Gutiérrez. Indicadores económicos y tecnología utilizada en la producción de maíz en la región de Azuero. Boletín técnico No.37. Panamá, IDIAP, 1990. 55 pág.

Programa de Economía del CIMMYT. 1993. La adopción de tecnologías agrícolas: Guía para el diseño de encuestas. México, D.F. CIMMYT

Van Nieuwkopp Martien; W. López y otros. La adopción de las tecnologías de labranza de conservación en La Fraylesca, Chiapas. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), México, 93 pág.

Oferta y Demanda de Semilla Mejorada de Maíz en El Salvador

Cristina Choto¹, Gustavo Sain² y Tito Montenegro¹

RESUMEN

Entre 1961 y 1980 la producción y el rendimiento de maíz creció a tasas superiores al 3%, mientras que entre 1981 y 1991 la tasa de crecimiento de la producción cayó a 1.5%. Un factor importante en este estancamiento fue la disminución en el uso de variedades mejoradas de maíz. Un factor ligado al uso de híbridos es la política de crédito a los pequeños agricultores. Los beneficios de crédito ágil para la compra de semilla híbrida y otros insumos se pueden percibir si se considera que un incremento del 10% en la superficie cultivada con híbridos produce un impacto igual en la productividad. Además, la alta rentabilidad a nivel de finca de la semilla mejorada, permitiría otorgar créditos a precios reales y no subsidiados. Como resultado de la contracción de la demanda, la producción total de semilla certificada decreció durante el período 1980-92 a una tasa anual del 4.8%. A comienzos de los 80's la producción nacional de semilla osciló entre 3,000-3,500 ton anuales, mientras que en los 90's esta misma fluctuó entre 2,200-2,400 ton por año. De hecho, los agricultores están usando más semilla de híbridos de generaciones avanzadas que antes. La crisis también cambió la industria semillera, donde los pequeños agricultores perdieron participación en el mercado en favor de empresas más grandes. Los productores grandes de semillas manejan el 45% del volumen total producido, mientras que el 55% restante se distribuye entre 13 productores donde sobresalen las cooperativas de pequeños productores.

El maíz es el alimento más importante en la dieta del pueblo Salvadoreño. Por esta razón, la autosuficiencia en este alimento básico ha sido una de las prioridades para el Gobierno de El Salvador a través de la historia contemporánea.

La producción de maíz en El Salvador es la más tecnificada y con mayor productividad de la tierra en toda la región centroamericana. Los rendimientos promedios a nivel nacional superan a los obtenidos en los demás países del istmo. La base para esta superioridad sobre el resto de las naciones centroamericanas descansa en parte en la amplia

difusión que han tenido los materiales híbridos. El Salvador es el único país de Mesoamérica en donde la mayor parte de la superficie cultivada con maíz por pequeños agricultores se realiza utilizando materiales híbridos (López-Pereira y Espinosa Calderón, 1993).

Sin embargo, en los últimos 15 años el incremento en la productividad se ha detenido. Esto ha significado una disminución importante en la tasa de crecimiento de la producción, lo que a su vez ha provocado cierta dificultad para satisfacer el creciente consumo interno de maíz. Una de las hipótesis que se postula en este trabajo es que el estancamiento de la productividad está relacionado con la reducción en el uso de materiales híbridos por parte de los productores de maíz. El objetivo principal del trabajo es identificar los principales factores que han influido en la disminución del uso y producción de semillas mejoradas durante el período 1980-1993.

Para conseguir este objetivo se analiza la evolución histórica de los factores económicos, institucionales y estructurales que han modificado la estructura de demanda y oferta de semilla mejorada. Estos factores provocan desplazamientos en las curvas de oferta y demanda de semilla cuyos resultados finales dependen de las fuerzas predominantes. Por ejemplo, si la oferta de semilla mejorada se contrae por efecto de factores de política sin que se afecte la demanda, el resultado final será una contracción en la producción de semilla y un alza de sus precios. Si por el contrario la política induce una contracción de la demanda de semilla sin afectar la oferta, el efecto final será también de una contracción de la producción, pero con una reducción simultánea en los precios de la semilla.

Se espera que la información generada en este trabajo sea de utilidad para la industria de producción y distribución de semilla, para los fitomejoradores y, en forma especial, para los responsables de reorientar y mejorar el diseño de los sistemas de suministro de semilla mejorada para los agricultores más pobres. Un mayor uso de semilla mejorada por los pequeños agricultores es una manera de propiciar un incremento en la productividad del cultivo en explotaciones de subsistencia y, por lo tanto, en los ingresos de ese estrato de la población.

¹ Investigadores de la Unidad de Socioeconomía del CENTA, El Salvador; ² Economista Regional para Centro América y El Caribe, CIMMYT.

LA DEMANDA DE SEMILLA MEJORADA

La demanda de semilla mejorada de maíz está determinada por factores tales como el nivel de producción de maíz, la contribución marginal de la semilla mejorada a la producción, el precio de la semilla mejorada y de otros tipos de semillas disponibles para el agricultor, y el precio del maíz, entre otros². En esta sección se examina la evolución histórica, a nivel nacional, de la producción, la superficie cultivada, el rendimiento de maíz y la contribución de la semilla híbrida a la productividad del cultivo. Posteriormente se examina a nivel del agricultor el uso actual y la rentabilidad potencial de la semilla mejorada. Finalmente se analiza el impacto de algunos factores relacionados con la política sobre el uso de semilla mejorada.

Evolución de la producción de maíz en El Salvador

La producción de maíz en El Salvador creció durante el período 1961-1992 a una tasa anual del 3.9%. Esta tasa de crecimiento fue principalmente el resultado de un aumento en la productividad, la cual creció a un ritmo anual del 2.2%, mientras que la superficie cultivada creció a una tasa anual de 1.7%. Sin embargo, la tasa de crecimiento de estas variables no ha sido constante a través del período considerado (Cuadro 1 y Figuras 1 y 2).

Con el fin de probar la hipótesis de la existencia de un cambio estructural en las tasa de crecimiento a partir de 1980, se estimó un modelo lineal segmentado con punto de corte en el año 1980, de la forma siguiente (Pyndick y Rubinfeld, 1991):

$$[1] \quad \ln Y_t = \beta_0 + \beta_1 * (t) + \beta_2 (t - t_0) * d_t$$

donde $\ln Y_t$ representa el logaritmo de la variable de interés (producción, superficie y rendimientos de maíz) en el año t , t_0 indica el año de corte (1980 en este caso), d_t es una variable indicadora que toma el valor 1 si $t > t_0$ y 0 si $t \leq t_0$; finalmente, β_0 , β_1 y β_2 son parámetros a ser estimados. El valor de β_1 da la tasa de crecimiento en el primer período (1969-1980) mientras que la suma

² En realidad a nivel de finca individual la decisión de usar una semilla mejorada implica un cambio en la función de producción del maíz y como tal no se puede hablar de una función de demanda derivada como si fuera un cambio a lo largo de la función de producción. Sin embargo a nivel regional o nacional, sí existe una función de demanda de semilla a medida que fincas individuales deciden adoptar la semilla mejorada a una densidad de siembra determinada.

(β_1, β_2) representa la tasa de crecimiento correspondiente al segundo período (1981-1992). La hipótesis de un cambio estructural en la tendencia entre ambos períodos corresponde entonces a probar la hipótesis que β_2 es diferente de cero. Los resultados obtenidos de la estimación mediante el método de los cuadrados mínimos ordinarios para las tres variables se muestran en la Cuadro 1.

De acuerdo con estos resultados, a partir de 1980 se produce un cambio importante en la tasa de crecimiento de los rendimientos y de la producción de maíz. Entre 1961 y 1980 la producción y los rendimientos crecieron a tasas superiores al 3%, mientras que entre 1981 y 1991 la tasa de crecimiento de la producción cayó en un 1.5% y los rendimientos permanecieron estables.

Dadas las condiciones de oferta limitada de tierra en El Salvador, el proceso de aumento de la producción basado en aumentos de la superficie cultivada es insostenible en el mediano y largo plazo. Es necesario entonces identificar las causas del estancamiento de los rendimientos a fin de tomar las medidas necesarias para revertir esta situación y continuar con un crecimiento sostenido de la producción de maíz.

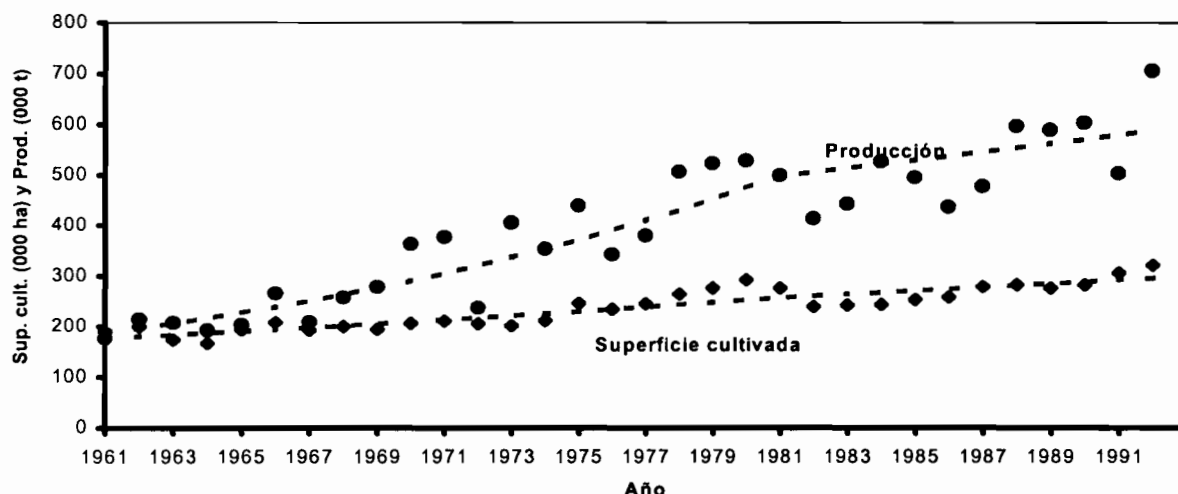
La semilla mejorada como impulsora de la productividad del maíz

Las ganancias en los rendimientos de maíz durante el período 1961-1980 fueron el resultado del proceso de extensa difusión masiva de un paquete tecnológico cuyos componentes principales lo formaron nuevos materiales híbridos y la fertilización con nitrógeno y fósforo (Walker, 1980; Soza y Moscardi, 1977).

Cuadro 1. Resultados de la estimación de las tasas de crecimiento de la producción, superficie y rendimiento de maíz en El Salvador, 1961-1991.

Parámetros	Rendimiento	Superficie	Producción
β_0	0.027	12.06	12.09
β_1	0.030 (7.3)***	0.019 (8.2)***	0.049 (10.6)***
β_2	-0.027 (-2.4)**	-0.006 (-1.0)	-0.034 (-2.8)***
R ²	0.75	0.84	0.88
n	32	32	32

Nota: Los valores entre paréntesis representan valores del estadístico t, mientras que ** y *** significan que los coeficientes son diferentes de cero con 95 y 99 % de confianza.



Fuente: Dirección General de Estadística Agropecuarias

Figura 1. Evolución y tendencia de la superficie cultivada y producción de maíz a nivel nacional en El Salvador, durante los años 1961-1992.

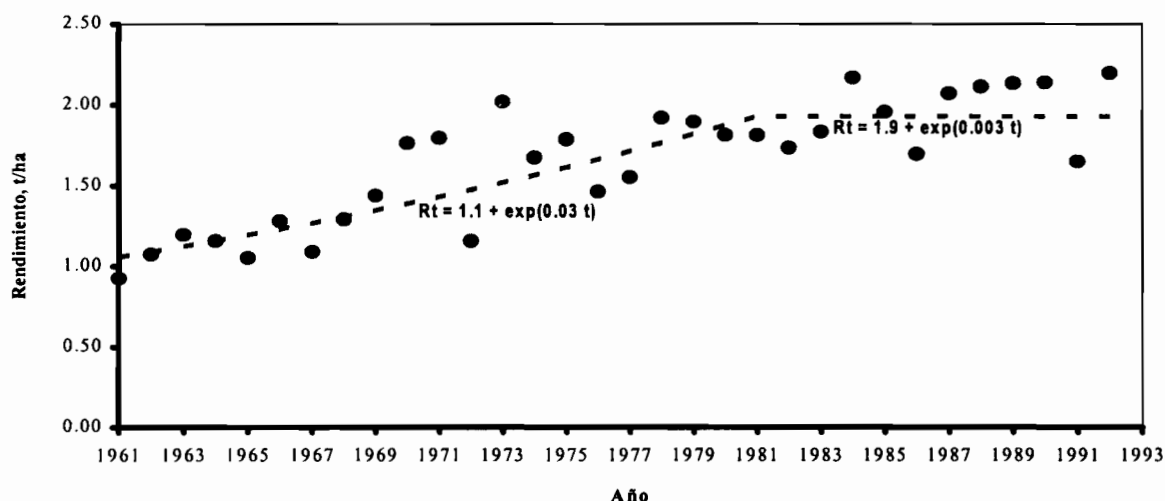


Figura 2. Rendimientos de maíz a nivel nacional en El Salvador, 1961-1992.

La relación entre la difusión de materiales híbridos y la evolución de los rendimientos de maíz se ilustra en la Figura 3, en donde la difusión de híbridos de maíz se mide en términos del porcentaje de la superficie total que es cultivada con estos materiales durante el periodo 1954-1992. Para el análisis se han diferenciado tres épocas. La primera época se extiende desde 1954 hasta 1967, la segunda va desde 1968 hasta 1980 y la tercera comienza en 1981 y se extiende hasta 1993. Las dos primeras épocas corresponden a la expansión de los materiales híbridos y al aumento de los rendimientos. Durante la tercera época (1981-1993), la superficie cultivada con materiales híbridos se estabiliza al

comienzo del período y posteriormente declina mientras que los rendimientos se mantienen estables.

En la fase que va desde 1954 a 1967 se liberan comercialmente los primeros híbridos producidos en el país. En 1955 se libera el híbrido H-1, en 1963 se libera el H-3 y en 1965 el H-5. Con la producción comercial de semilla de estos dos últimos híbridos comienza la difusión masiva por parte del Gobierno de El Salvador de estos nuevos materiales acompañada de campañas de divulgación para la aplicación de fertilizantes y herbicidas (Walker, 1980). En 1967 comienza la segunda época, que se caracteriza por una

rápida difusión de los nuevos materiales. Estos pasan de ocupar aproximadamente el 10% de la superficie total cultivada con maíz al comienzo del período hasta alcanzar casi el 70% en 1980. Durante este período se liberan algunos nuevos híbridos y se mejora el H5 aunque se le sigue comercializando con el mismo nombre (Adán Aguiluz, comunicación personal).

A partir de 1981 se inicia una etapa que se caracteriza por el estancamiento y disminución del proceso de difusión de los híbridos, hasta alcanzar el 55% del total de la superficie cultivada en las últimas campañas. En esta fase se liberan comercialmente al menos tres nuevos materiales: el H17 en 1987, y el H53 y H56 en 1990, los cuales han tenido una buena aceptación entre los agricultores y podrían jugar un papel importante en la recuperación de los rendimientos y de la industria semillera en El Salvador

Trabajos previos han demostrado la relación que existe entre el nivel de rendimientos a nivel nacional y el porcentaje de la superficie total de maíz que es cultivada con variedades mejoradas (López-Pereira y Espinosa Calderón, 1993). Para estimar esta relación se procedió a estimar la siguiente ecuación:

$$[2] \quad \ln Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 H_t + \varepsilon_t$$

donde $\ln Y_t$ representa el logaritmo de los rendimientos en el año t ; H_t es el porcentaje de la superficie cultivada con híbridos en el año t ; α_0 y α_1 son parámetros a ser estimados y ε_t es un término de error. Se debe notar que α_1 mide el cambio porcentual en los rendimientos inducidos por un cambio en el porcentaje de la superficie total que es cultivada con híbridos.

Para estimar esta relación se procedió primero a eliminar de ambas series las variaciones anuales que podrían ser causadas por factores climáticos³ y luego se estimaron los parámetros mediante el método de los cuadrados mínimos ordinarios. El resultado se presenta a continuación:

$$[3] \quad \ln Y_t = 0.058 + 0.009 H_t \\ (13.9)**$$

$$R^2 = 0.87; n=29$$

³ Para eliminar las variaciones anuales de las series de ambas variables se calcularon las medias móviles de tres años. Las nuevas series fueron usadas para estimar la relación postulada.

donde el valor entre paréntesis corresponde al estadístico t , y ** significa que el coeficiente es diferente de cero con 99% de confianza.

Los resultados confirman la asociación entre ambas variables. Los rendimientos promedios a nivel nacional crecen a razón del 0.9% por cada punto porcentual en que se incrementa el porcentaje de la superficie total cultivada con materiales híbridos. Por lo tanto, un aumento del 10% en la superficie cultivada con híbridos trae aparejado un aumento del 9% en los rendimientos promedio.

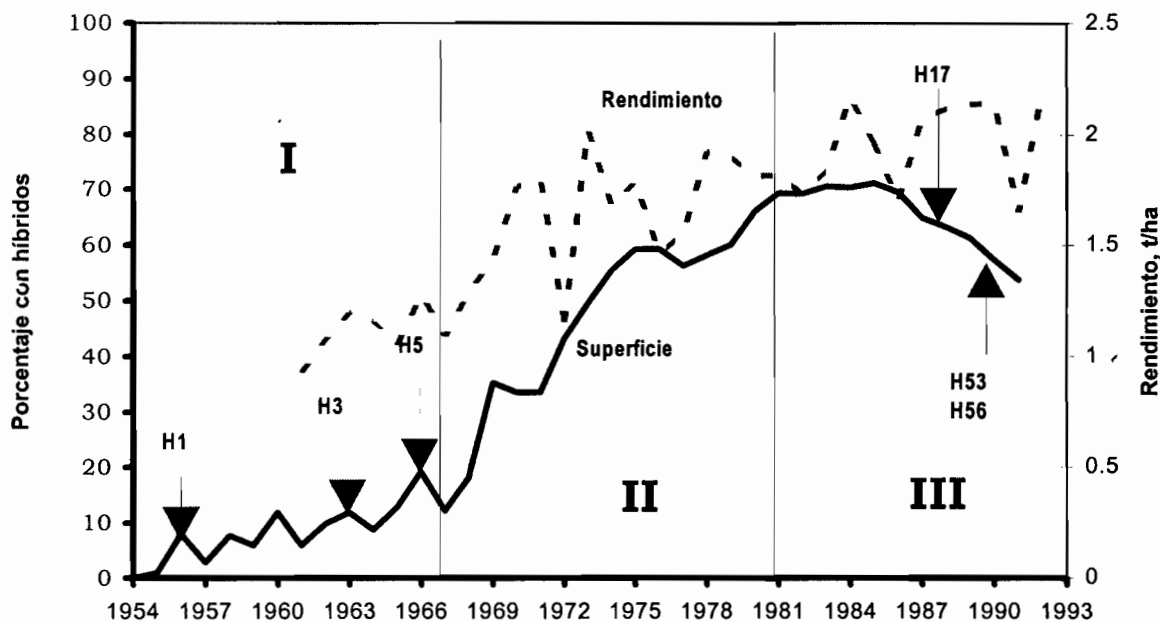
Uso de semilla mejorada por los agricultores

En un estudio realizado en 1992 por el Departamento de Economía Agrícola del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) con una muestra de más de 250 agricultores productores de maíz a nivel nacional, se encontró que durante ese año alrededor del 70% de los agricultores declararon usar semillas de maíces híbridos⁴. Sin embargo, el uso de semillas híbridas varía considerablemente de acuerdo con la región geopolítica que se trate (Figura 4).

En las regiones I y II (Occidental y Pacífico) las cifras indican un uso masivo de híbridos, mientras que en la región IV (Oriental) sólo el 30% de los agricultores declararon usar materiales híbridos. La región III (Norte) se mantiene un poco por debajo del promedio nacional. Los bajos porcentajes de uso de semillas híbridas en la región IV pueden explicarse por el mayor riesgo de sequía y porque esta región se vio fuertemente afectada por el conflicto político militar de la década de los 80. Este último factor, que también desempeñó un papel importante en la región III, provocó que tanto la investigación y la extensión así como el normal aprovisionamiento de los mercados de insumos y semillas se concentraran, durante la década de los 80, en las regiones I y II. En cuanto a los híbridos más usados en 1992, tanto a nivel de las regiones como a nivel nacional, fueron el H5 y el H3 (Figura 5).

Resultados similares arrojó un estudio reciente sobre el manejo del cultivo de maíz en el Departamento de Ahuachapán en la región Occidental. El 56% de los agricultores usaron en 1994 semillas de maíces híbridos.

⁴ Esta cifra se encuentra por arriba de la indicada por las estadísticas agregadas para ese año (alrededor de 55%).



Fuente: Dirección General de Estadísticas Agropecuarias

Figura 3. Difusión de materiales híbridos y evolución de los rendimientos de maíz en El Salvador, 1954-1991.

Sin embargo, si se considera la generación de semilla utilizada, 47% de los agricultores usó semilla de híbridos de primera generación y 9% usó semilla híbrida de generaciones posteriores. El 80% de los agricultores utilizaron el híbrido H5, y en menor escala aparecen el HB83 (8%) y el C385 (8%) (Choto, Sain y Montenegro, 1995). La conveniencia económica para el agricultor de cambiar la semilla que está usando puede ser evaluada en forma sencilla calculando cuál sería el precio máximo que el agricultor podría pagar por la nueva semilla y mantener el cambio rentable (CIMMYT, 1988).

El precio máximo que los agricultores estarían dispuestos a pagar por la semilla mejorada (P_{s1}) se calcula como:

$$[4] \quad P_{s1} = \frac{(R_1 - R_0)P_m}{S * (1 + M)} + P_{so}$$

donde ($R_1 - R_0$) representa la diferencia en rendimiento entre la variedad mejorada (R_1) y aquella a la cual reemplaza (R_0); P_m y P_{so} representan el precio del maíz y el precio de la semilla que el agricultor está usando; S es la cantidad de semilla usada por unidad de tierra (densidad de siembra) y M es la tasa mínima de retorno

necesaria para inducir al agricultor al cambio (CIMMYT, 1988).

Si el precio calculado de acuerdo con la ecuación [4] es igual o menor que el que los agricultores realmente pagan por la semilla mejorada, quiere decir que la semilla se encuentra accesible en términos económicos para el agricultor. Los resultados obtenidos usando valores promedios de rendimientos experimentales de los híbridos más difundidos muestran una clara ventaja económica de los híbridos sobre las variedades criollas aún usando tasas de descuento de hasta un 400%.

Esta elevada rentabilidad resulta fundamentalmente de la ganancia en rendimientos de los híbridos sobre los criollos que alcanza el 150% (Cuadro 2) y a los bajos precios de la semilla híbrida en El Salvador (Cuadro 3). La relación precio semilla híbrida:precio grano pone a El Salvador entre los países que tienen más bajos precios relativos de semilla híbrida (CIMMYT, 1987; López-Pereira y Espinosa Calderón 1993; ASPRODES, 1990).

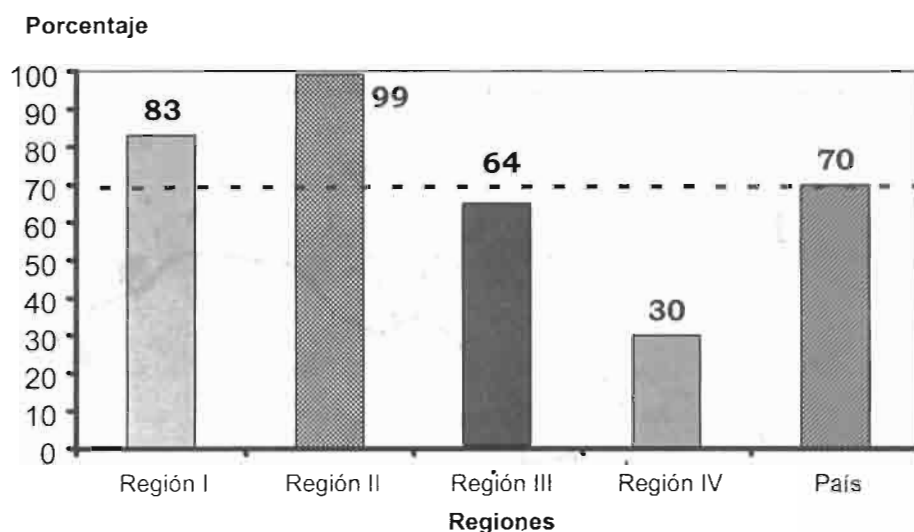


Figura 4. Porcentaje de agricultores que utilizan híbridos de maíz. Regiones geopolíticas en El Salvador, 1992.

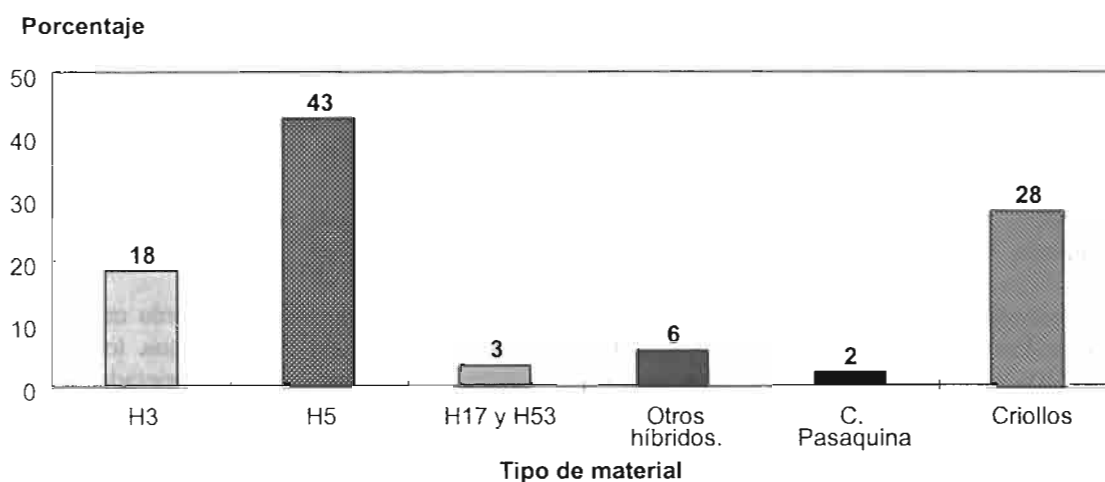


Figura 5. Uso de variedades de maíz a nivel nacional (porcentaje de agricultores). El Salvador, 1992.

Cuadro 2. Rendimientos experimentales de los principales híbridos en El Salvador, 1988-1992.

Año	Rendimiento t/ha						
	H3	H5	H17	H53	H56	H57	Criollo
1988		5.34	5.26	5.89	6.23		1.31
1989		5.22		6.34	5.39		1.62
1990	4.80	4.80		5.67	5.60	6.20	1.69
1991	3.58	4.17	4.63	4.47	4.93	5.15	1.69
1992		4.25		5.37	4.93	5.15	1.21
Promedio ¹	3.84	3.91	3.96	4.47	4.43	4.54	1.58

Fuente: Informes técnicos de ensayos regionales del Programa de Maíz del CENSA y Anuarios Estadísticos Agropecuarios de la Dirección General de Economía Agropecuaria, El Salvador

¹ Los promedios experimentales fueron ponderados por un factor de 20% de pérdida para reflejar mejor los rendimientos a nivel de campo (CIMMYT, 1988)

Políticas que afectan la demanda

Tres factores de política económica e institucional que afectaron la demanda de semillas mejoradas durante la década de los 80 son : a) la política de precios, incluyendo el precio de las divisas (tasa de cambio) y el nivel general de precios (tasa de inflación), b) la disponibilidad de crédito agrícola y la tasa de interés, y c) el conflicto político-militar (Hugo, Andrews y Stimpson, 1991).

Durante las década de los 60 y 70, el uso de semillas híbridas y fertilizantes se difundió rápidamente gracias al ambiente económico de crecimiento y estabilidad existente, y a un programa de crédito dirigido que subsidiaba el uso de los nuevos componentes tecnológicos. El Banco de Fomento Agropecuario (BFA), otorgaba crédito que muchas veces se entregaba en forma de insumos: semilla híbrida y fertilizantes. Estos créditos se otorgaban a tasas de interés menores que las tasas de inflación, por lo que la tasa real de interés era nula o negativa. Además, durante la década de los 70 y la mayor parte de los 80, la tasa de cambio sostenida por el Gobierno mantuvo al colón por arriba de su valor de equilibrio lo que abarató artificialmente la importación de insumos como fertilizantes y otros agroquímicos.

Sin embargo, a partir de 1980 las condiciones económicas comenzaron a cambiar. El Producto Bruto Interno (PBI) se estancó o decayó, y el país comenzó a registrar tasas de inflación elevadas. La combinación de inflación alta y tasa de cambio sobrevaluada castigó al precio del maíz recibido por el productor. El índice del precio real del maíz en finca declinó más rápidamente que el costo real de producción del maíz, lo que trajo como consecuencia una pérdida neta de ingresos para el productor y por lo tanto provocó una contracción de la demanda de insumos externos a la finca (Hugo, 1991).

Los datos del Cuadro 3 muestran que la caída registrada en el uso de híbridos no estuvo asociada a los precios de este insumo. La tendencia de los precios relativos de los híbridos siguió un patrón decreciente en el período 1981 - 1991. Al comienzo de la década de los 80's se necesitaban casi 5 kg de maíz para comprar 1 kg de semilla híbrida, mientras que al comienzo de los 90 sólo se necesitaban 3 kg.

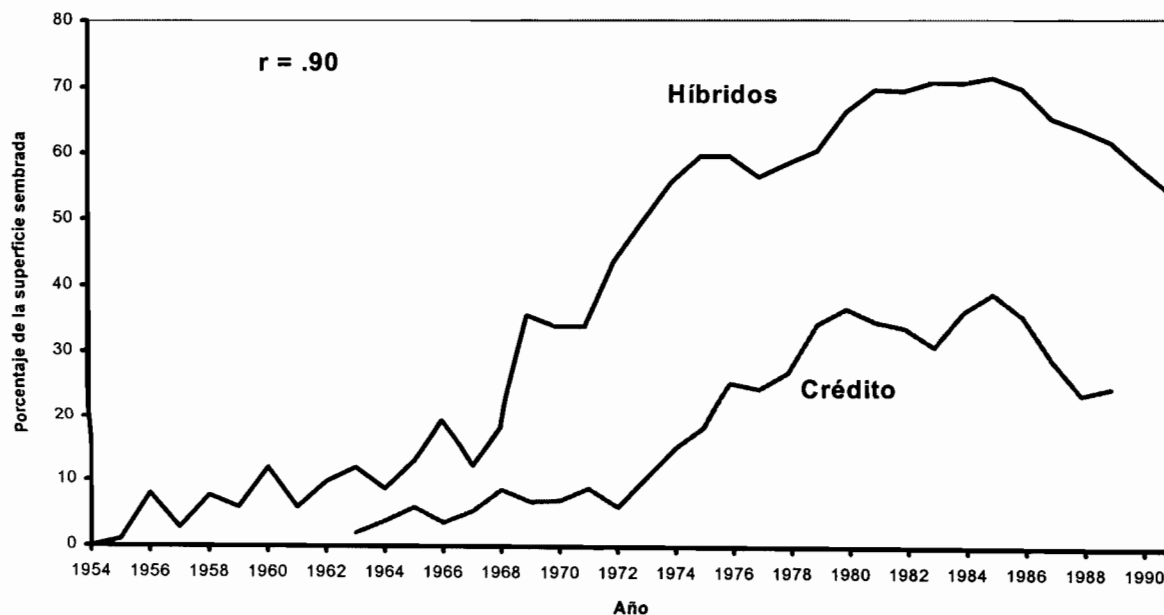
Un factor que parece estar más ligado al uso de los materiales híbridos por los agricultores, es la disponibilidad y precio del crédito. La Figura 6 muestra la estrecha relación que existe entre la disponibilidad de crédito, medida por el porcentaje de la superficie total de maíz, cultivada con crédito del BFA, y el porcentaje de la superficie cultivada con híbridos.

La estrecha asociación entre ambas series, correlación del 90%, a través de todo el período, indica que un cambio en la disponibilidad de crédito conlleva un cambio en la misma dirección en el uso de semilla híbrida. Por lo tanto, uno de los efectos inmediatos de la política económica aplicada durante los años 80 al reducir drásticamente la disponibilidad de crédito a los pequeños agricultores fue la de disminuir la adquisición de nueva semilla híbrida a nivel del agricultor.

Cuadro 3. Precio absoluto y relativo de la semilla híbrida en El Salvador, 1980-1991.

Años	Precio de semilla (Ps) (US\$/kg)	Precio de maíz (Pm) (US\$/kg)	Precio relativo (Ps/Pm)
1980	0.739	0.154	4.80
1981	0.746	0.154	4.85
1982	0.746	0.152	4.90
1983	0.628	0.142	4.42
1984	0.628	0.161	3.90
1985	0.628	0.145	4.32
1986	0.392	0.120	3.28
1987	0.549	0.142	3.87
1988	0.394	0.111	3.55
1989	0.487	0.139	3.52
1990	0.468	0.144	3.26
1991	0.468	0.165	2.83
Promedio	0.57	0.14	3.98

Fuente: Precios de insumos. Economía Agropecuaria. CENTA. Varios tomos. Los precios en colones fueron convertidos a dólares americanos usando la tasa oficial de cambio.



Fuente: Dirección General de Estadísticas Agropecuarias y Hugo, Andrews y Stimpson, 1991.

Figura 6. Asociación entre la superficie con maíz cultivada con crédito y la superficie cultivada con híbridos. El Salvador, 1964-1991.

LA OFERTA DE SEMILLA MEJORADA

En esta sección se examinan los factores que influyen sobre la oferta de semilla mejorada, a través del análisis de la evolución histórica de la producción de semilla mejorada y de la estructura de la industria de producción de semilla.

La producción de semilla certificada durante el periodo 1980-1992

La producción total de semilla certificada decreció durante el periodo 1980-92 a una tasa anual del 4.8 % (Figura 7). A comienzos de los 80 la producción nacional osciló entre 3,000 - 3,500 toneladas anuales, mientras que a comienzos de los 90 la producción fluctuó entre 2,200 - 2,400 toneladas por año.

Esta caída de la oferta disponible de semilla tiene implicaciones sobre la superficie total de maíz que puede ser sembrada con semilla híbrida de primera generación.

Partiendo de las cantidades de semilla certificada producidas en un año determinado y de la superficie total cultivada con materiales híbridos reportada a nivel

nacional, es posible estimar la proporción de la superficie cultivada con híbridos de primera generación y con híbridos de generaciones posteriores.

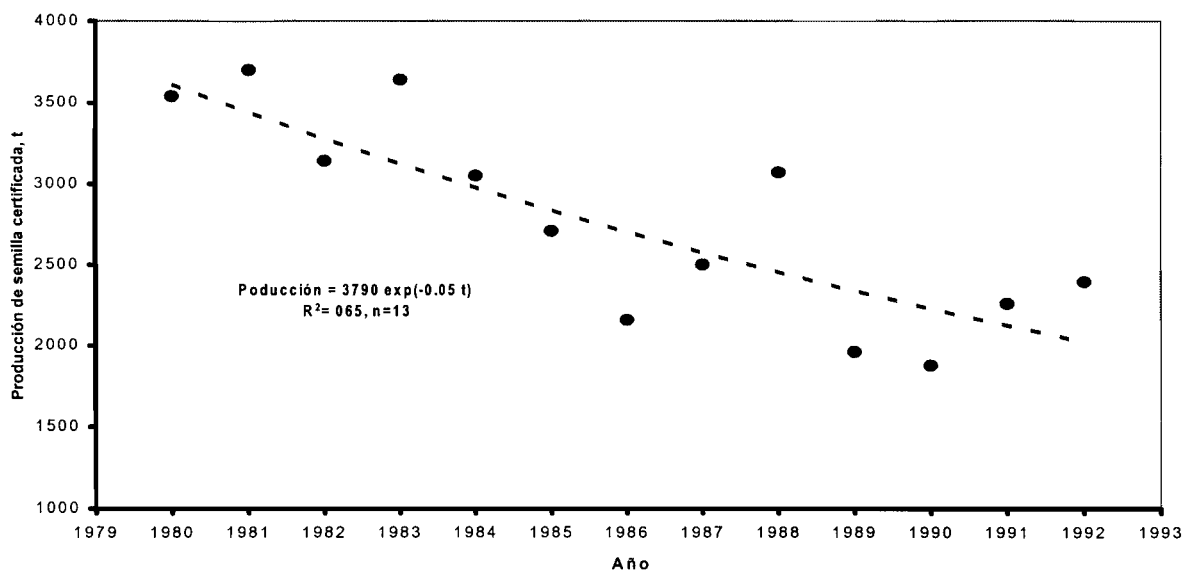
Para estimar la superficie cultivada con híbridos de primera generación, se estima primero la disponibilidad de semilla mejorada en el año t (S_t) como:

$$[5] \quad S_t = Q_{t-1} - (E_t - I_t)$$

donde (Q_{t-1}) es la producción doméstica de semilla certificada en el año anterior y ($E_t - I_t$) corresponde a las exportaciones netas (exportaciones menos importaciones) en el año t .

Si se supone que toda la disponibilidad del año t (S_t) se usa en ese mismo año con una densidad de siembra constante (d), la superficie sembrada con híbridos de primera generación en el año ($SH1_t$) se calcula como:

$$[6] \quad SH1_t = S_t / d$$



Fuente: Elaboración propia basado en información de la División de Certificación de Semillas del CENTA, El Salvador.

Figura 7. Evolución de la producción total de semilla certificada en El Salvador, 1980-1992.

Cuadro 4. Estimación de la disponibilidad de semilla híbrida y de la superficie sembrada con híbridos de primera generación. El Salvador 1980-1993.

Año	Producción Interna Qt t	Exportaciones netas (E - I) t	Disponibilidad St t	Superficie sembrada con híbridos				
				Total SH ha	1ra generación SH1 ha	% ¹	2da generación SH2 ha	% ¹
1980	3527	45						
1981	3685	589	2937	192 800	146 856	53.1	44944	16.3
1982	3140	421	3264	191 800	163 185	68.4	2015	0.8
1983	3641	41	3099	165 200	154 954	64.2	15346	6.4
1984	3050	364	3276	170 300	163 821	67.3	7379	3.0
1985	2709	46	3004	171 200	150 191	59.2	30109	11.9
1986	2157	91	2617	180 300	130 856	50.8	48144	18.7
1987	2502	-8	2165	179 000	108 257	38.8	72843	26.1
1988	3113	199	2303	181 100	115 138	40.8	63162	22.4
1989	1880	-3	3117	178 300	155 836	56.4	13564	4.9
1990	1876	-9	1889	169 400	94 444	33.5	67256	23.9
1991	2258	29	1846	161 700	92 315	30.1	72585	23.7
1992	2393	19	2239	164 900	111 949	34.9	45271	14.1
1993	2407		2393	157 220	119 673	35.0		

¹ Estos porcentajes se refieren a la superficie total sembrada con maíz

La superficie sembrada con híbridos de generaciones avanzadas (SH₂) se estima entonces como diferencia entre la superficie total reportada con híbridos a nivel nacional (SH_i) y el estimado de la superficie con híbridos de primera generación:

$$[7] \quad SH_2 = SH_i - SH_1$$

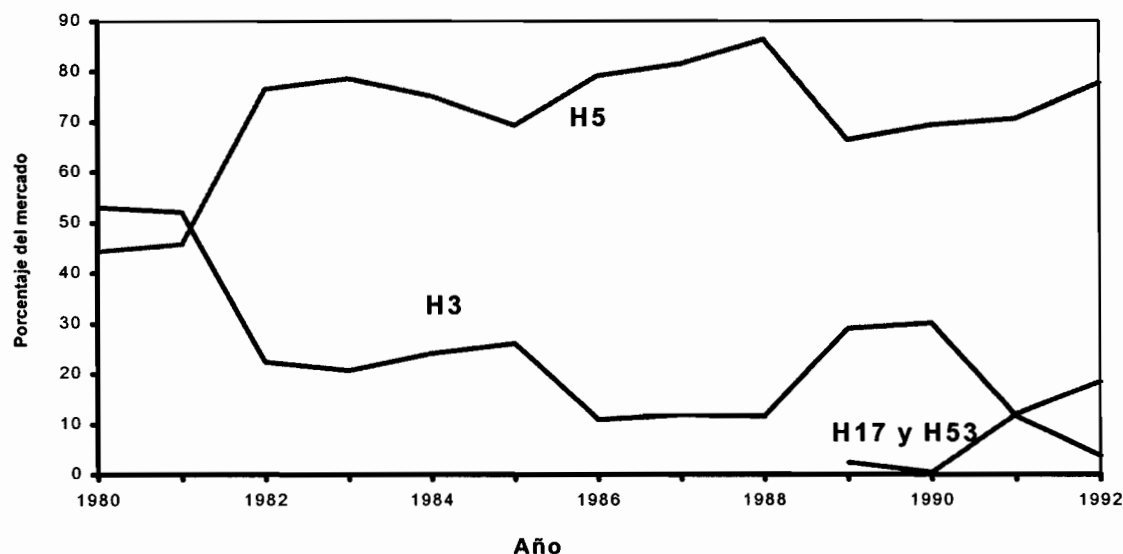
El Cuadro 4 muestra los resultados de la estimación. Al comienzo de la década de los 80 la proporción de la superficie total sembrada con híbridos de primera generación fue de aproximadamente un 70%, mientras que menos del 10% de la superficie total se sembró con híbridos de generaciones avanzadas. A comienzo de los 90, la situación cambió completamente. La proporción de la superficie total reportada con híbridos disminuyó a un 55%, de los cuales un 35 % correspondió a híbridos de primera generación y alrededor del 20% a híbridos de generaciones posteriores.

Tipos de semilla de maíz producidas

Dos híbridos, el H3 y el H5, han dominado la producción de semilla certificada durante el período 1980-1992 (Figura 8).

En 1980 ambos materiales conformaban casi el 90% de la producción total de semillas, siendo el H3 el principal material producido. A partir de 1981 el H5 comenzó a desplazar al H3, aumentando su participación relativa hasta alcanzar, al comienzo de los años 90, casi un 80% del total producido. A partir de 1982, la producción de H3 decayó hasta llegar a 1992, cuando se produjeron menos de 100 toneladas de semilla de este material.

A partir de 1990 se comenzó a producir semilla de los híbridos H17 y H53. Estos materiales tuvieron un crecimiento singular, alcanzando casi el 20% en 1992 lo que provocó que el híbrido H3 prácticamente desapareciera del mercado. Si esta tendencia se mantiene es probable que estos materiales comiencen también a desplazar al H5 dentro del mercado de semillas híbridas. Sin embargo, una característica notable de la producción de semilla en El Salvador es la aparición esporádica de semilla de híbridos que solamente permanecen en producción unos pocos años para luego desaparecer. En los 13 años considerados, los únicos materiales que se produjeron en forma continua durante todo el período fueron el H3 y H5. Los demás materiales reportados se produjeron por un lapso promedio de sólo 3 años.



Fuente: Elaboración propia basado en información de la División de Certificación de Semillas del CENTA, El Salvador.

Figura 8. Participación relativa de los híbridos más importantes en la producción de semillas en El Salvador, 1980-1992.

LA INDUSTRIA DE PRODUCCION DE SEMILLA MEJORADA DE MAIZ EN EL SALVADOR

Antecedentes

En El Salvador existe actualmente una industria con una estructura institucional y funcional consolidada, como resultado de un largo proceso que comenzó a mediados de la década de los 40 cuando se inició en el país el mejoramiento genético. Este esfuerzo dio sus primeros frutos 10 años más tarde con la liberación de los primeros híbridos comerciales. A partir de ese momento surgen las primeras estructuras de organización de la industria.

La producción de semillas certificada se inició en la década de los 50 por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), organismo que inicialmente distribuía semilla de variedades mejoradas. La liberación del híbrido H1 en 1955, y posteriormente los híbridos H3 y H5 en 1963 y 1965, motivó la necesidad de la certificación de semillas. Dada la ausencia de organizaciones nacionales de certificación, fue necesario recurrir al sistema internacional para controlar la producción comercial de los híbridos. En enero de 1956 se organizó la *Sección Profesional para la Certificación de Maíz Híbrido*, bajo la supervisión de la Misión de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica. En setiembre de ese mismo año, se creó el primer organismo estatal de control, el cual se denominó *Servicio de Maíz Híbrido*. A partir de 1958 se ampliaron sus responsabilidades a la certificación de semillas de otros cultivos, por lo que se le cambió el nombre a *Servicio de Certificación de Semillas*.

Posteriormente, la rápida expansión del área sembrada con los nuevos híbridos trajo aparejada la dificultad de cubrir la creciente demanda de semilla mejorada, por lo cual, en 1971, el sector público abrió las puertas a la empresa privada a la producción de semilla. Simultáneamente, se promulgó la *Ley de Certificación de Semillas y Plantas* que dió origen a la estructura actual de la industria de producción de semilla en El Salvador (López Sánchez, 1978; ASPRODES, 1990). De acuerdo con esta ley, que se mantuvo vigente hasta 1992, el organismo encargado del control y supervisión de la calidad de la semilla era la *División de Certificación de Semillas y Plantas*. Hasta ese año la producción de semillas certificada estaba formada por una estructura mixta en donde las funciones de desarrollo y liberación de híbridos eran ejercidas por el sector público, mientras que la

reproducción y comercialización estuvieron principalmente en manos del sector privado con una presencia mínima del sector público. En 1993 se promulgó una nueva ley que reemplazó a la vigente desde 1971 y por medio de la cual el sector público se retiró de la actividad de producción de semillas pero retuvo las funciones de control y fiscalización a través del proceso de certificación de la semilla. La Figura 9 presenta la estructura institucional actual que regula el proceso de certificación de semilla.

Un organismo dentro de la estructura de la industria de producción de semillas que no se muestra en la Figura 9, es la *Comisión Nacional de Semillas (CNS)*. Este es un organismo colegiado, constituido por representantes de los diferentes grupos de productores privados y por el MAG, que actúa como organismo asesor de la División de Tecnología de Semilla y Certificación de Semilla en aspectos tales como definición de áreas de siembra, cuotas de exportación, y precios de ventas de semillas. Sin embargo, con la Ley de autonomía del CENTA el CNS no se encuentra aún en funcionamiento.

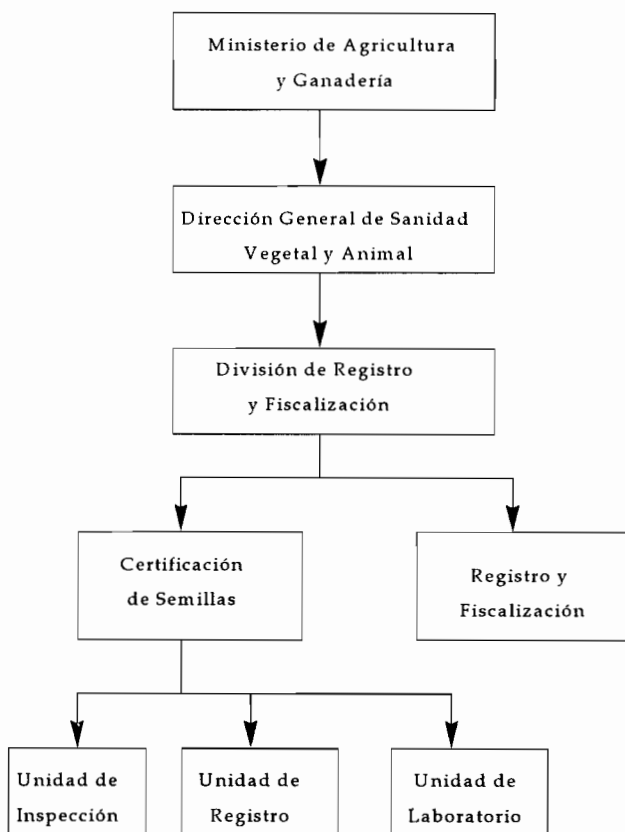


Figura 9. Instituciones involucradas en la certificación de semillas en El Salvador.

Estructura y funcionamiento de la industria de producción de semilla mejorada

La producción de semilla certificada es un proceso en donde la semilla pasa de ser un producto de una fase a ser un insumo de la siguiente. Córdova *et al.*, 1992 indica que en ese proceso se deben reconocer cuatro categorías o clases de semillas: i) semilla genética o del fitomejorador, la cual es el resultado final del proceso de mejoramiento efectuado por el genetista o fitomejorador; ii) semilla básica o de fundación, es la primera multiplicación en el campo a partir de la semilla genética; iii) semilla registrada, es la primera multiplicación de la semilla básica; y iv) semilla certificada o comercial, es la última etapa en el proceso de multiplicación de semillas (Veliz, 1993).

La Figura 10, muestra esquemáticamente el funcionamiento del sistema de producción y mercadeo

de semilla certificada. El CENTA produce semilla básica a partir de la semilla genética o del mejorador, la cual es procesada y vendida a través de la Unidad de Tecnología de Semillas a los productores de semilla registrada y certificada, previa licencia de producción otorgada por la División de Certificación de Semillas y Plantas. Durante el proceso de producción, estos productores son supervisados por los técnicos de la División de Certificación quienes avalan y garantizan la calidad e identidad genética de la semilla certificada. Los productores deben cumplir las normas específicas para la producción de semillas certificadas del *Reglamento General de Certificación de Semillas y Plantas* que establece las tolerancias de campo permitidas para la certificación de la semilla. Debe notarse que los productores de semilla tienen la opción de comprar el material genético básico al CENTA o importarlo.

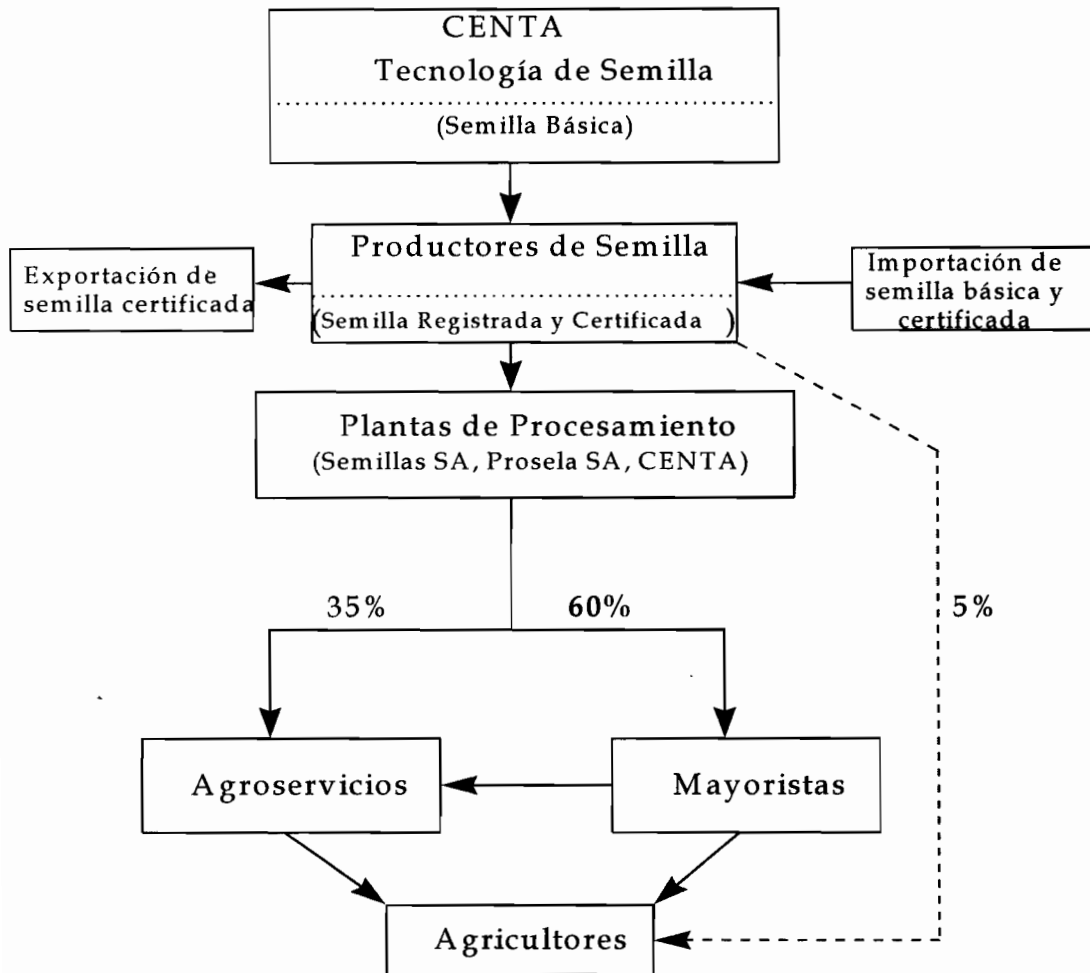


Figura 10. Funcionamiento del sistema de producción y mercadeo de semilla certificada en El Salvador.

Los materiales más vendidos desde 1990 a 1994 corresponden a aquellos para la producción de semilla del híbrido H5 (Cuadro 5). Se deben notar también algunos cambios registrados en años 1993 y 1994 en los cuales no se vendió semilla para la producción de los híbridos H3 y H17. El H53 pasa de producirse como híbrido triple a producirse como doble. Finalmente aparecen en el mercado dos nuevos materiales: los híbridos H56 y H104.

Dentro del sector privado de producción de semilla certificada se encuentran tres tipos de actores: cooperativas de productores, empresas productoras grandes y pequeños productores individuales que pueden entrar y salir esporádicamente del mercado. Todos ellos se encuentran agrupados dentro de la *Asociación de Productores de Semillas de El Salvador* (ASPRODE). La importancia relativa en el mercado de cada uno de estos actores ha cambiado substancialmente a lo largo de los últimos 10 años (Figura 11). En 1980 más del 80% de la producción de semilla procedió de pequeños productores individuales (englobados en la Figura 11 como "Otros"). A partir de 1981 los agricultores agrupados en cooperativas del sector reformado pasan a ser los principales productores de semilla certificada, alcanzando en 1982 el 80% del mercado. Sin embargo, a partir de ese año las cooperativas van perdiendo su participación relativa en favor de las empresas Semillas S.A. y Proselva S.A., las cuales capturan al final del período alrededor del 45% del mercado, sobrepasando a las cooperativas que quedan con un 40%, mientras que los productores individuales capturan el restante 15%.

El número total de productores de semilla fluctuó alrededor de 15 miembros y ha seguido una tendencia levemente declinante durante la década. Es decir que la industria declina durante la década en término de los

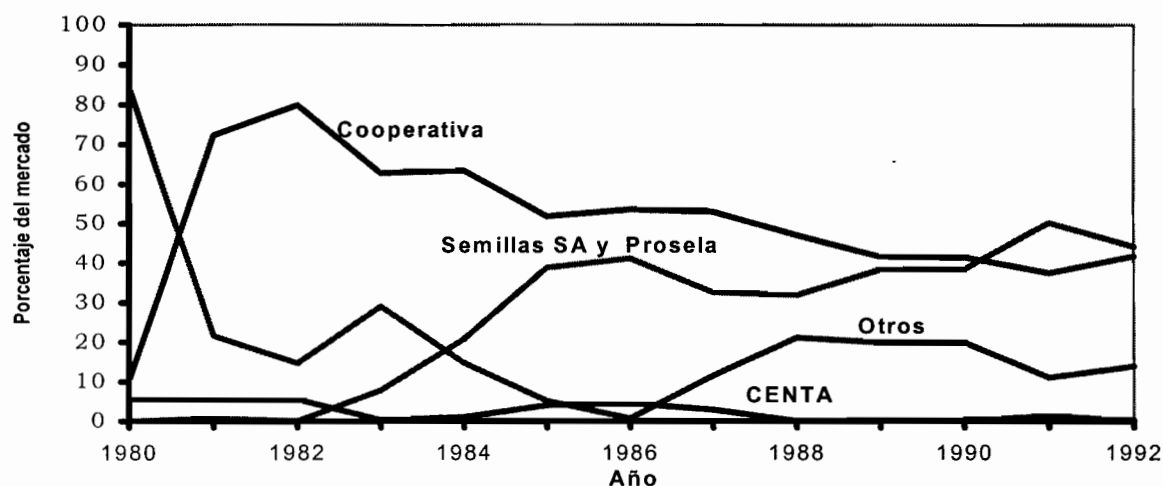
volúmenes producidos pero el número de actores permanece relativamente estable, con entradas y salidas esporádicas de productores individuales. Esto muestra una cierta movilidad en la industria que podría estar relacionada a la rentabilidad relativa de la actividad y a la liberación comercial de nuevos materiales que no tienen aceptación en el mercado y desaparecen después de un cierto número de años.

Se puede apreciar entonces que con anterioridad a la vigencia de la ley en 1993, el CENTA intervino en la venta de semillas certificadas comercializando, durante los 80, entre el 1 y el 5% del total de semilla certificada. A partir de la ley en 1993, el sector público no participa en la producción y venta de semillas certificadas. Se debe notar que no todos los productores de semilla que operan en el mercado adquieren semilla básica del CENTA. Por ejemplo, en la campaña 1994/95 operaron 12 productores en el mercado, pero solamente 6 de ellos adquirieron material básico del CENTA.

Los volúmenes promedios de semillas producidos por establecimiento varían de acuerdo con el tipo de semilla. Los volúmenes mayores corresponden al H5, con alrededor de 200 toneladas de semilla por productor, y el H3, con alrededor de 70 toneladas. La semilla certificada producida puede ser vendida en el mercado interno o exportada. En el mercado interno es vendida a agroservicios, transportistas, o directamente a los agricultores. Sin embargo es común que primero la semilla producida sea almacenada en alguna de las tres plantas de procesamiento existentes en el país. Una de estas plantas pertenece al CENTA, mientras que las otras dos son privadas (Semillas S.A. y Proselva S.A.) y tienen una capacidad instalada para procesar 32 t/día cada una y para almacenar un total de 3,864 t de semilla bajo condiciones naturales.

Cuadro 5. Semilla de materiales parentales para la producción de diferentes híbridos vendidos por CENTA, 1990-1994.

Año	H3		H5		H17		H53(triple)		H53(doble)		H56		H104	
	Macho	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Hembra
	619	511	528	512	Lt200	Lt10	Fam.	Lt200	6283A	Lt200	Lt10	528	ESA8	ESA4
	x	x	x	x	x	x	6283	x	x	x	x	x	x	x
	615	607	607	1560	615	Lt20		615	6283B	615	Lt20	6283	ESA6	ESA2
1990	1104	3143.18	2990	9039	206.54	69	80.5	322	0	0	0	0	0	0
1991	782	2727.8	2576	10994	23	115	322	1219	0	0	0	0	0	0
1992	92	276	3519	12960.5	184	782	437	1978	188.6	356.5	0	0	0	0
1993	0	0	2139	7636	115	552	0	0	989	3243	264.5	920	34.5	161
1994	0	0	1564	6049	0	0	0	0	230	690	230	713	11.5	46



Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por la División de Certificación de Semillas, CENTA, AGROINTE, E.A Calderón, F. Valle, Moore Comercial, D. Portillo y Escuela Nacional de Agricultura.

Figura 11. Participación relativa de distintos agentes económicos en la producción de semillas certificadas en El Salvador, 1980-1992.

Cuadro 6. Precios de materiales híbridos y márgenes de comercialización entre el distribuidor mayorista y el agricultor, El Salvador 1991-1994.

Año	H3			H5			H53/H56		
	Mayorista	Agricultor	Margen %	Mayorista	Agricultor	Margen %	Mayorista	Agricultor	Margen %
1991	0.72	0.81	12.4	0.69	0.79	15			
1992	0.60	0.78	30.4	0.68	0.79	16.5	0.67	0.84	25
1993	0.57	0.89	55.6	0.70	0.77	10.3	0.71	0.92	29.5
1994	0.89	1.01	14.3	0.68	0.76	12	0.78	0.94	20.2
Promedio	0.69	0.87	28.18	0.69	0.78	13.45	0.72	0.90	24.90

Fuente: Encuesta a productores de semillas. CENTA-PRM, 1994

El Reglamento General de Certificación de Semillas y Plantas establece también normas específicas para el procesamiento de semillas, regulando las acciones de estas empresas.

La cadena de comercialización finaliza con la venta de semilla certificada a los usuarios finales: los agricultores. Esta venta se realiza a través de tres canales. El canal más importante en términos del volumen comercializado es aquél donde el productor vende la semilla certificada a un distribuidor mayorista que a su vez vende a agroservicios (minoristas) o al agricultor.

Aproximadamente el 60% de la semilla certificada se comercializa a través de este canal. El 40% restante es vendido por el productor directamente a los agroservicios (35%) y a los agricultores (5%).

Los precios a los que el productor vende la semilla certificada varían de acuerdo con el tipo de semilla y comprador (Cuadro 6). El margen promedio entre el mayorista y el agricultor es de aproximadamente 20%. Sin embargo, el margen es substancialmente menor para el H5.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Héctor Barreto, Salvador Berrios, Elio Durón, Jerome Fournier, Jorge Huezo, Mario Jauregui y Robert Tripp, por sus comentarios y sugerencias realizadas a una versión preliminar que permitió mejorar enormemente este trabajo. También desean agradecer a la Cooperación Suiza para el Desarrollo (COSUDE), a la Fundación Ford (FF), y al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por el apoyo financiero a las actividades del Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT) y el Programa Regional de Maíz (PRM). Sin su generosa contribución este trabajo no hubiera sido posible. Finalmente al CENTA, y al CIMMYT por brindar el apoyo institucional necesario para tener un excelente ambiente de trabajo.

REFERENCIAS

- ASPRODES. 1990. La producción de semilla certificada en El Salvador. Un análisis de la realidad y su posición ante el desafío de la nueva década. Asociación de Productores de Semillas de El Salvador. Mimeografiado, San Salvador. Octubre, 30p.
- CIMMYT. 1987. CIMMYT: Hechos y tendencias mundiales relacionados con el maíz 1986. Aspectos económicos de la producción de semilla de variedades comerciales de maíz en los países en desarrollo. México, D. F., México.
- CIMMYT. 1988. *From agronomic data to farmer recommendations: An economics workbook*. Mexico City, Mexico: International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT).
- Choto, C, G. Sain, y T. Montenegro. 1995. Productividad y rentabilidad del sistema maíz-sorgo bajo labranza de conservación en El Salvador. Trabajo en preparación.
- Córdova, H. S., J. L. Queme y P. Rosado. 1992. Producción artesanal de semilla de maíz para el pequeño agricultor en Guatemala. PRM, ICTA, DIGESA. Segunda edición. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- López-Pereira, M. A., y A. Espinosa Calderón. 1993. Análisis económico de la producción y uso de semilla mejorada de maíz: El caso de México. Trabajo presentado en la XXXIX Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano de Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA), Ciudad de Guatemala, Guatemala, Marzo 28 - Abril 3.
- López Sánchez, R. 1978. La industria semillera en El Salvador. Factores limitantes. Trabajo presentado en la XXIV Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano de Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA). San Salvador, El Salvador, 10-14 Julio.
- Hugo, C., H. Andrews y D. Stimpson. 1991. Invigorating the seed industry in El Salvador. Report for the Agency for International Development (DAN-4144-A-00-1020-00) at Kansas State University, Food and Feed Grains Institute and Mississippi State University, Seed Technology Laboratory. September.
- Pyndick, R., y D. Rubinfeld. 1991. *Econometric models and economic forecasts*, 3rd Edition.: McGraw-Hill, New York, New York.
- Soza, R.F. y E.R. Moscardi. 1977. Avances de resultados y observaciones metodológicas del Programa de Producción de Maíz de Centroamérica y el Caribe. Trabajo presentado en la XXIII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano de Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA). Ciudad de Panamá, Panamá.
- Veliz, D. 1993. Diagnóstico sobre la producción de semillas de granos básicos en Guatemala. Tesis sin publicar. Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Walker, T.S. 1980. Decision making by farmers and by the National Agricultural Research Program on the adoption and development of maize varieties in El Salvador. PhD Thesis. Food Research Institute, Stanford University. Stanford, California.

Adopción y Uso de Semilla Mejorada de Maíz entre Pequeños Agricultores del Sudeste de Guatemala

Gustavo Sain¹, Fabio Herrera² y Julio Martínez³

RESUMEN

La mayor parte de los productores de maíz de Guatemala no tienen acceso a insumos agrícolas. En 1987 sólo el 16% de la superficie total fue sembrada con semilla mejorada. Este trabajo intenta identificar intensidad, formas de uso y patrón de difusión de la semilla mejorada, y los factores que influyen sobre su adopción en el departamento de Jutiapa, Guatemala. Los resultados muestran que DIGESA (agencia de extensión) tuvo un impacto significativo en la adopción y difusión de semilla mejorada en el departamento. Este impacto se refleja por la tasa de crecimiento en el uso de variedades mejoradas a partir de 1986. El uso de variedades mejoradas también se encuentra asociado a la siembra de maíz en monocultivo. Agricultores con parcelas pequeñas tienen menos probabilidad de usar semilla mejorada. Si bien la propiedad de la tierra es un factor que afecta el uso de variedades mejoradas en forma significativa, su importancia relativa no es tan considerable como los anteriores. Un resultado importante es que se tiende a usar semillas mejoradas más en tierras planas que en laderas. La edad del agricultor resultó importante solamente en el caso de adopción total. Los agricultores jóvenes además de ser menos adversos al riesgo, tienen menos dependientes y más probabilidades de usar la semilla mejorada en la totalidad de la superficie dedicada a maíz.

Guatemala produce el 42% DEL total de maíz de la región centroamericana. La importancia del cultivo en la economía guatemalteca se refleja en el hecho de que durante la década de los 80 el valor de la producción de maíz representó aproximadamente el 10% del valor total de la producción agrícola del país. (Cuadro 1).

La mayor parte de los productores de maíz de Guatemala son pequeños agricultores de subsistencia. Aproximadamente un 60% de las explotaciones productoras de granos básicos en Guatemala son minifundios caracterizados principalmente por un

tamaño que muchas veces resulta insuficiente para satisfacer las necesidades alimenticias básicas de una familia típica (5 a 6 personas). La importancia numérica de este grupo, su situación alimenticia precaria y su crecimiento demográfico urgen una atención permanente para mejorar el nivel tecnológico de estos productores y con ello, sus ingresos (Herrera y Jiménez, 1992).

De ahí la importancia de incorporar a los sistemas de producción de maíz nuevas tecnologías que contribuyan a mejorar los rendimientos y de esa manera propicien el incremento en los ingresos de los agricultores. Una estrategia para aumentar los rendimientos en forma rápida y efectiva es promocionar un mayor uso de semilla mejorada por los pequeños agricultores. Aunque la disponibilidad de semilla mejorada de maíz a través del sistema de producción convencional creció durante el período comprendido entre 1981 y 1992 (Cuadro 2), este crecimiento ha sido irregular e insuficiente para cubrir las necesidades potenciales de semilla mejorada limitando seriamente el acceso de los pequeños agricultores a ésta y a otros insumos agrícolas.

Por ejemplo, en 1987 la superficie cosechada de maíz en Guatemala sembrada con semilla mejorada fue de sólo un 16% siendo agricultores medianos y grandes los principales usuarios de este insumo (Echeverría, 1990). En los últimos 20 años el rol del sector público en la producción de semillas certificadas de granos básicos disminuyó en términos relativos. Por ejemplo, la participación del Instituto de Tecnología Agropecuaria (ICTA) en la producción de semilla certificada de granos básicos disminuyó de un 25-30% en 1975-1979, a sólo el 1% en 1985 (Veliz). Dado que los precios de la semilla mejorada proveniente del sector privado son, en términos generales, mayores que los precios de semilla provenientes del sector público, la disminución del papel del sector público en la producción de semilla mejorada puede haber influido en el uso de semilla mejorada por pequeños agricultores.

¹. Economista Regional para Centro América y El Caribe, CIMMYT.; ²Economista del Proyecto de Desarrollo Rural Integrado Peninsular en Costa Rica, y ³Economista del ICTA, Guatemala.

Cuadro 1. Area cosechada, producción, rendimiento, valor y porcentaje de la producción agrícola total del maíz en Guatemala. 1976-1990

Año	Area cosechada (miles de hectáreas)	Volumen producido (miles de toneladas)	Rendimiento (kg. / ha)	Valor de la producción del maíz (millones de Q de 1984)	% del valor total de la producción agrícola.
1976	552.0	610.90	1,018.1	124.4	8.47
1977	535.6	632.00	1,085.6	118.3	7.52
1978	634.2	999.80	1,450.4	134.1	8.65
1979	652.6	1,088.50	1,600.8	136.2	8.75
1980	705.8	978.70	1,275.7	136.4	8.61
1981	730.1	1,085.40	1,367.7	138.4	8.85
1982	716.4	1,194.00	1,533.3	158.4	10.0
1983	610.3	1,074.20	1,619.2	149.9	9.63
1984	740.7	1,303.63	1,619.2	174.5	10.74
1985	706.7	1,182.60	1,539.5	167.6	10.19
1986	725.8	1,170.90	1,484.3	180.1	10.55
1987	818.8	1,321.10	1,484.3	180.8	10.49
1988	690.2	1,440.20	1,919.7	196.1	10.89
1989	858.4	1,808.40	1,938.1	189.3	10.39
1990	679.8	1,404.90	1,901.3		

Fuente: Gallardo y Figueroa (1992), Herrera y Jiménez (1992)

Con el fin de mejorar el acceso de los pequeños agricultores a la semilla mejorada mediante el incremento de las actividades de transferencia de tecnologías agrícolas, se puso en funcionamiento, a partir de 1986, el Proyecto de Generación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria y Producción de Semillas (PROGETTAPS). Aunque el proyecto cubrió inicialmente 7 departamentos, a partir de 1989 se incorporan 8 más para un total de 15 departamentos (Figura 1).

El proyecto puso énfasis en la promoción y transferencia de nuevos materiales genéticamente mejorados los cuales eran producidos por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) y transferidos por la Dirección General de Servicios Agrícolas (DIGESA). Ambas instituciones se integran en la ejecución de PROGETTAPS y aprovechan el vínculo entre investigadores y extensionistas para promover un efecto multiplicador a través de la participación de agricultores en la prueba, adopción, integración y transferencia de tecnología (Córdova *et al.*, 1992, Ortiz).

A partir de 1987, el Programa cobra vigor mediante la implementación, a nivel nacional, de estrategias y mecanismos de transferencia de tecnología destinadas a generar un sector productivo de semilla mejorada con la participación de los pequeños agricultores a nivel de

sus propias comunidades rurales, para que de esa manera, este sector tuviera acceso en cantidades suficientes a la semilla de nuevos materiales mejorados (Córdova *et al.*, 1992).

Aunque no estaba programada en la formulación inicial del Proyecto, una estrategia de acción que surgió durante su ejecución fue la del Programa de Producción Artesanal de Semilla Mejorada. Este programa fue planteado y ejecutado como una estrategia para hacer accesible la semilla mejorada a los agricultores que no tenían suficientes recursos para su compra o para aquellos que no la tenían disponible en su comunidad (Ramiro Ortiz. Comunicación Personal).

Así, el número de parcelas de transferencia realizadas a nivel nacional por PROGETTAPS para los distintos cultivos involucrados pasa de 506 en 1986 a 4630 en 1989 (Ortiz *et al.*, 1991). En estas parcelas los agricultores utilizaban principalmente semilla mejorada como único insumo del paquete tecnológico recomendado. Como consecuencia de la intensa actividad desarrollada en el período, la producción artesanal de semilla certificada de maíz a través de PROGETTAPS creció a una tasa anual del 22% pasando de 26.1 toneladas en 1986 a 138 toneladas en 1992 (Cuadro 2).

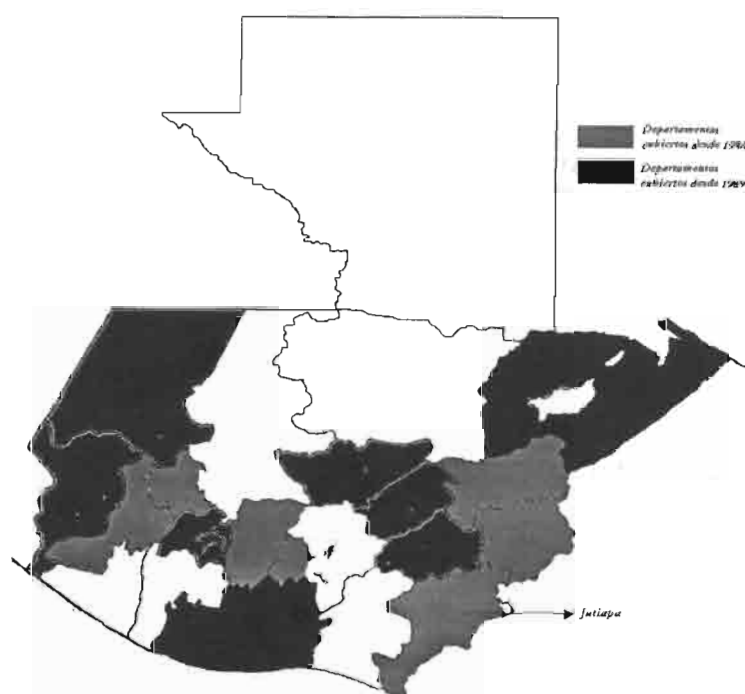


Figura 1. Ubicación geográfica del Departamento de Jutiapa y localización del programa PROGETTAPS

Cuadro 2. Producción de semilla certificada de maíz a nivel nacional, Guatemala 1981-1992

Años	Producción de semilla certificada por sector (toneladas)	
	Sector convencional ^{1/}	PROGETTAPS ^{2/}
1981	969	
1982	1135	
1983	1791	
1984	2814	
1985	2343	
1986	1865	26.1
1987	3315	108.5
1988	1609	84.0
1989	1460	80.6
1990	2197	92.4
1991	1567	175.9
1992	1654	137.8

Fuentes: ^{1/} Años 1981 - 1992, Veliz 1993. ^{2/} Años 1985-1990, Valladares y Sain, 1993. Años 1991 - 1992, Veliz 1993

El objetivo general del trabajo es el identificar los factores que influyen sobre la decisión de usar o no semilla mejorada por pequeños productores de maíz en Jutiapa, Guatemala. Se pretende conocer el impacto que ha tenido el programa de DIGESA como un medio

de difusión de este insumo entre los pequeños agricultores. El estudio contribuye además a conocer cual es la intensidad del uso, preferencias en cuanto a formas de uso de semilla mejorada, e identificar el patrón de difusión histórico del uso de variedades mejoradas y materiales híbridos en la región.

La información generada es de utilidad para los diferentes sectores relacionados con la industria de producción y distribución de semilla así como para los fitomejoradores, y en forma, para los responsables de orientar y mejorar el diseño de los sistemas de suministro de semillas mejorada para los agricultores más pobres.

Fuentes de datos

En este trabajo los datos primarios provienen de una encuesta realizada durante los meses de junio y julio de 1991 coordinada por un equipo de técnicos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), y DIGESA bajo el patrocinio conjunto del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), y del Programa Regional de Maíz (PRM).

Cuadro 3. Número y proporción de fincas en la población en la muestra por Municipio en el Departamento de Jutiapa, Guatemala

Municipio	Población		Muestra	
	Fincas	Proporción	Fincas	Proporción
Jutiapa	1844	0.17	33	0.16
El Progreso	401	0.04	6	0.03
Santa Catarina Mita	712	0.07	10	0.05
Agua Blanca	839	0.08	14	0.07
Asunción Mita	1629	0.15	24	0.12
Yupiltepeque	378	0.04	6	0.03
Atescatempa	711	0.07	10	0.05
Jerez	227	0.02	5	0.02
El Adelanto	177	0.02	3	0.01
Zapotitlán	229	0.02	2	0.01
Comapa	619	0.06	17	0.08
Jalpatagua	431	0.04	3	0.01
Conguaco	659	0.06	19	0.09
Moyuta	863	0.08	33	0.16
Pasaco	78	0.01	2	0.01
San José Acatempa	77	0.01	2	0.01
Quezada	598	0.06	13	0.06
Monjas	319	0.03	6	0.03
TOTAL	10791		208	0.02

La encuesta se realizó con extensionistas de DIGESA previamente capacitados para recolectar la información adecuadamente. El tamaño de la muestra fue de 208 agricultores diseminados en los 18 municipios del departamento de Jutiapa que corresponde aproximadamente al 2% del total de fincas en el Departamento. El número de agricultores en cada Municipio se determinó de acuerdo con la proporción del número total de fincas en cada uno de ellos (Cuadro 3). Dentro de cada Municipio los agricultores fueron seleccionados al azar. El diseño de la encuesta fue coordinado por el CIAT (Baltensweiler, 1992).

CARACTERIZACION GENERAL DEL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA

El departamento de Jutiapa se encuentra ubicado en la región sudeste de Guatemala (Figura 1) y tiene una superficie aproximada de 322,000 hectáreas. Existen alrededor de 33,000 fincas familiares con un área promedio de 6.70 has; sin embargo, un 77% de esas fincas tienen menos de 3.5 has (Baltensweiler, 1992).

La región produce alrededor del 12% del maíz, 37% de sorgo y 39% de frijol cultivado en Guatemala. El uso de insumos agrícolas es bajo lo que se refleja en la productividad de los principales cultivos que ha permanecido estancada en los últimos años y es altamente dependiente de factores climáticos y

edáficos. Sin embargo, estos productos representan la mayor parte del ingreso y fuente alimenticia de una familia rural típica en la zona (Thornton y Hoogenboom, 1990).

Precipitación

Aunque el promedio de lluvias anuales en el Departamento oscila entre 1100 y 1450 mm/año dependiendo del municipio, Jutiapa puede ser considerada como una región en donde la humedad es un factor limitante para la agricultura. Esto se debe principalmente a que la precipitación se concentra en los seis meses que van de mayo a octubre cuando cae más del 80% del total anual (Figura 2) (Simmons *et al.*, 1959, Thornton y Hoogenboom, 1990).

Suelos

Los suelos de Jutiapa se dividen en tres clases. Suelos de la Altiplanicie Central que comprenden un 85% de la superficie total del Departamento son suelos pedregosos e inclinados, aptos sólo para pastos y bosques. Suelos del Litoral del Pacífico, que comprenden sólo el 5.4% de la superficie total, son suelos fértiles, productivos y fáciles de manejar. Finalmente, existe una clase miscelánea (9.6%) que incluye áreas donde no domina ninguna clase particular de terreno. En general son suelos aptos para la agricultura.

Superficie y Tenencia de la tierra

La mayoría de los agricultores poseen la tierra en propiedad (61%), mientras que un tercio de ellos la alquilan (Cuadro 4). El tamaño promedio de las fincas es de 2.3 hectáreas aunque existe una cierta variación de acuerdo con la forma de tenencia. Los propietarios tienen una propiedad con un tamaño promedio de 2.7 ha mientras que los arrendatarios alquilan un promedio de 1.4 ha (Cuadro 2). Estas cifras ponen de manifiesto el carácter minifundista de las fincas predominantes en la región.

Principales usos de la tierra

La superficie total de la finca se dedica en un 60% a actividades permanentes en donde predominan los pastos y bosques y barbechos. Dentro de los cultivos anuales (40%), la producción de granos, principalmente maíz y frijol, ocupa el mayor porcentaje de la superficie con un 39% del total de la superficie de la finca (Cuadro 5).

Consultados sobre sus expectativas de cambios en el uso de la tierra, la mayoría de los agricultores (53%) piensa que continuará sembrando la misma superficie que en la actualidad mientras que un tercio (29%) tienen la intención de aumentar la superficie cultivada con granos básicos y tubérculos.

Sistemas de cultivo y épocas de siembra del maíz

Aunque no existen estadísticas oficiales sobre la superficie total cultivada con maíz en el Departamento, un estudio reciente indicó que en 1989 había un total de 21,579 productores que en total cultivaban 32,170 hectáreas de maíz (SPADA citada por Viana, 1990).

El maíz se siembra bajo dos sistemas: el sistema tradicional donde el maíz se siembra asociado a otro cultivo y en monocultivo. En el primero, el maíz se asocia generalmente con frijol, sorgo u ocasionalmente algún tubérculo. En el área hay dos épocas de siembra naturales para el cultivo del maíz las cuales están relacionadas al patrón de lluvias. La primera época coincide con el inicio de la temporada lluviosa y se extiende desde el fin de abril hasta mediados de mayo y la segunda durante el mes de agosto (Figura 2).

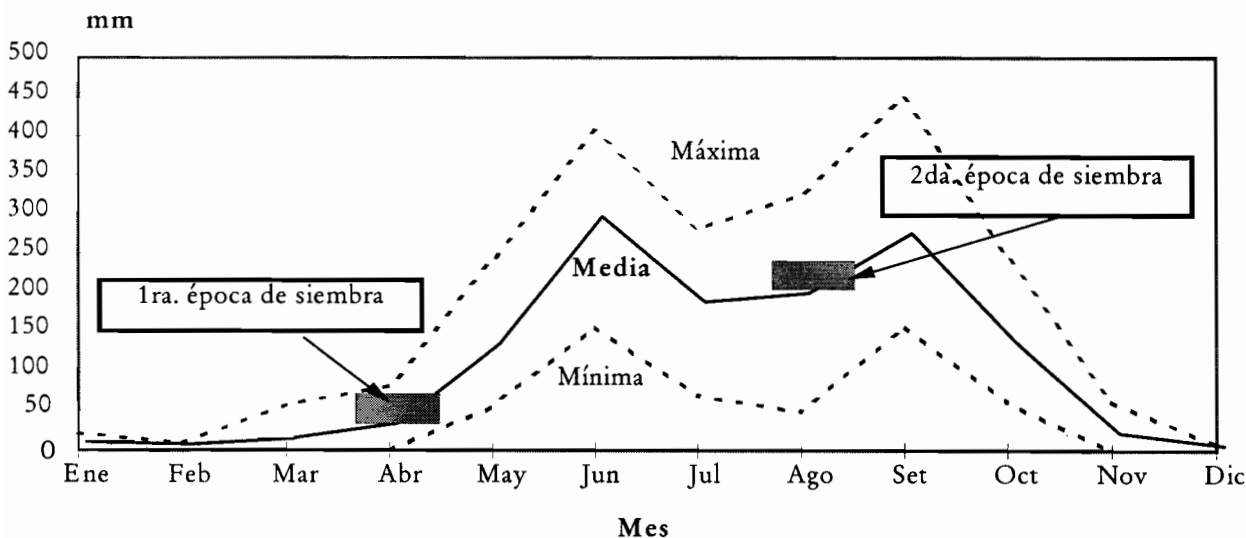
Cuadro 4. Tenencia de la tierra y superficie de la fincas, Jutiapa, Guatemala 1991

Tenencia	Porcentaje de agricultores	Superficie promedio (ha)
Propia	61	2.70
Alquilada	32	1.44
Medianero*	7	2.70

*Medianero: comparten costos y ganancias en mitad y mitad

Cuadro 5. Uso de la tierra por pequeños agricultores en Jutiapa, Guatemala, 1991

Usos	Porcentaje de la superficie total
Cultivo anuales	
Granos (maíz y frijol)	39
Hortalizas y frutales	02
Subtotal	41
Cultivos permanentes	
Café	01
Pastos	33
Bosque o barbecho	24
Monte no productivo	01
Subtotal	59



Fuente: Simmons *et al.*, 1959, Thorton y Hoogenboom, 1990.

Figura 2. Precipitación media, máxima y mínima mensual. Jutiapa, Guatemala

La segunda época se considera de mayor riesgo por la disponibilidad de agua durante el llenado de la mazorca por lo que los agricultores, en su gran mayoría, solo siembran durante la primera época de siembra. Casi el 90% de todos los agricultores en la muestra, usan las dos primeras semanas de mayo para establecer su cultivo. De esa manera se previenen de situaciones de lluvia errática o de sequía, y tienen suficiente tiempo para establecer un segundo cultivo anual durante la segunda época de siembra.

USO DE SEMILLA MEJORADA DE MAÍZ

Tipos de semillas de maíz usados por los agricultores:

Casi tres cuartos de los agricultores del Departamento de Jutiapa utilizaron semilla criolla durante la siembra del maíz en 1991, mientras que más de un tercio de ellos usaron semilla de maíces híbridos y de variedades mejoradas (Cuadro 6, panel a). Sin embargo, cuando se desagrega la información, se observa un panorama un poco más complejo ya que un 35% de los agricultores usaron dos o tres tipos diferentes de semilla (Cuadro 6, panel b). Un poco más del 40% de los agricultores utilizaron sólo semilla criolla siguiéndole en orden de importancia aquellos que sembraron semilla criolla y mejorada y en tercer lugar aquellos agricultores que sólo sembraron híbridos. La diferencia en las cifras entre agricultores que sólo siembran materiales híbridos en relación con aquellos que sólo siembran materiales mejorados pareciera indicar la tendencia de que los primeros tienden a ser sembrados en exclusividad mientras que los materiales mejorados se siembran en adición a los materiales criollos.

Los agricultores reportaron usar al menos 30 variedades criollas. Sin embargo, ocho de estas treinta cubren el 85% del área cultivada con este tipo de semillas. La variedad más popular es la denominada Arriquín cultivada por la mitad de los agricultores usando el 56% de la superficie dedicada a variedades criollas. Las otras siete variedades criollas usadas con mayor frecuencia (29%) se conocen como: Ulupilse, Bayonil, Americano, Maizón, San Marceño, Cola de rata y Candela (Cuadro 7).

En el caso del maíz mejorado, los agricultores reportaron usar un total de 9 clases de semilla mejorada, de las cuales cinco son híbridos y cuatro son variedades.

Cuadro 6. Tipos de semilla de maíz entre los Agricultores del departamento de Jutiapa. I época de siembra, 1991

(a) Agregado		
Tipo de semilla usada	Agricultores	Porcentaje
Criolla	158	76
Híbrida	70	34
Mejorada	65	31

(b) Desagregado		
Tipo de semilla usada	Agricultores	Porcentaje
Solo criolla	89	43
Solo híbrida	33	16
Solo mejorada	12	6
Criolla e híbrida	22	11
Criolla y mejorada	40	19
Híbrida y mejorada	4	2
Criolla, híbrida y mejorada	7	3
Total	207	100

Cuadro 7. Variedades criollas usadas durante la primera época de siembra, Jutiapa, Guatemala, 1991

Nombre	Porcentaje de	
	Agricultores	Superficie
Arriquín	49	56
Ulupilse	5	4
Bayonil	7	7
Americano	5	4
Maizón	5	4
San Marceño	3	5
Cola de rata	3	2
Candela	3	2
Otros*	21	15
Total	100	100

*Otros incluye 22 nombres tradicionales de variedades criollas

Sin embargo, cuatro clases, dos variedades y dos híbridos, son utilizados por un 89% de los productores y ocupan el 90% del área total sembrada con semilla mejorada. Las semillas mejoradas más usadas correspondieron a las variedades B-1 y B-5 y a los híbridos H-5 y H-3 (Cuadro 8).

Patrón de difusión de la semilla mejorada

El patrón de difusión de la semilla mejorada de maíz en el Departamento de Jutiapa se estimó mediante la recolección histórica entre los agricultores en la muestra de información sobre cuando comenzó a comprar o intercambiar semilla de variedades

mejoradas o híbridos (No se distinguió entre variedades mejoradas y materiales híbridos por lo que el patrón de difusión se refiere a materiales mejorados en general). Para minimizar los errores relacionados con este tipo de información se usaron ayudas visuales en donde se ubicaron en el tiempo eventos especiales ocurridos en el área. Los resultados reflejan parcialmente el impacto que tuvo el programa de DIGESA-PROGETTAPS (Figura 3).

En los primeros 8 años (1977 - 1985) el porcentaje de agricultores que usaban semillas mejoradas aumentó en un 11% mientras que en los 6 años siguientes (1986 - 1991) la difusión de semilla mejorada en el departamento se aceleró y aumentó en un 38%, es decir a razón de un poco más del 6% anual.

Formas de adquisición y manejo de la semilla de maíz

Existen tres formas de adquisición de semilla para la siembra de maíz: comprar la semilla, guardarla de la

cosecha anterior, y cambiarla con otros agricultores. Aunque la mayoría (75%) de los agricultores practican una sola forma de adquisición, el 25% restante adquiere la semilla de dos o más formas diferentes.

Cuadro 8: Variedades mejoradas e híbridos usados durante la primera época de siembra. Jutiapa, Guatemala, 1991

Nombre	Porcentaje de	
	Agricultores	Superficie
B-1	39	33
H-5	25	32
H-3	13	15
B-5	12	10
HB-83	7	7
HB-85	1	1
C-3	1	1
V-302	1	0
H-2	1	1
TOTAL	100	100

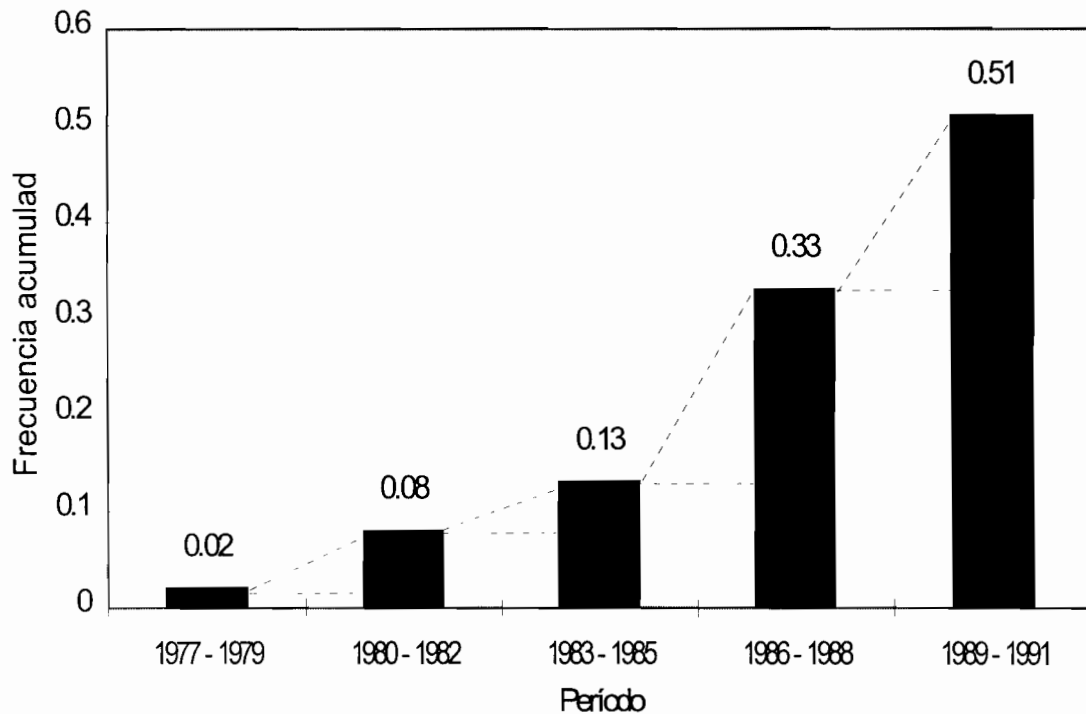


Figura 3: Patrón de difusión de la semilla mejorada de maíz en Jutiapa, Guatemala, 1977 - 1991

La forma más común es la de guardar la semilla de la cosecha anterior para utilizarla en la próxima siembra. El 66% de los agricultores guarda parte de su producción de maíz como material de siembra para la próxima cosecha, un 26% de los casos compra la semilla de maíz y un 8% la cambia por otros productos.

Aquellos agricultores que siembran semilla híbrida tienden más a comprarla que aquellos que siembran materiales mejorados (Cuadro 9). Esto es consistente con las mayores pérdidas en productividad asociadas con el uso de semilla híbrida de generaciones avanzadas.

Dentro del grupo de agricultores que compran semilla de maíz, los lugares más comunes donde el agricultor adquiere la semilla también varía de acuerdo con el tipo de semilla que usa (Cuadro 10).

En el caso de la semilla criolla, otros agricultores de la misma o de otra aldea son la fuente de origen para la adquisición de semilla mientras que en el caso de semilla mejorada, ya sean materiales híbridos o variedades mejoradas, la compra en casas comerciales y a otros agricultores son las fuentes principales para la adquisición de la misma.

Cuando se les preguntó a los agricultores, cual(es) es (son) la(s) forma(s) de adquirir semilla mejorada² que ellos prefieren, las preferencias de los agricultores en la muestra se volcaron hacia la producción de su propia semilla ya sea por selección del mejor grano o por producción artesanal (Cuadro 11).

Las preferencias sobre las dos primeras formas de adquisición tienen en común que en ambos casos la semilla se obtiene de dentro de la finca pero se diferencian fundamentalmente en que, producirla artesanalmente, implica cumplir con los requisitos y controles que PROGETAPPS exige a un agricultor para ser beneficiario y recibir la asistencia técnica e insumos que brinda el proyecto, mientras que, la preferencia por seleccionar el mejor grano de la cosecha implica continuar con los métodos tradicionales del agricultor para producir la semilla.

Estos resultados son consistentes con los encontrados en estudios similares en donde los agricultores utilizan el sistema convencional de semillas más para cambiar sus variedades que para

obtener semilla nueva de las variedades que ya cultivan, y por tanto se requeriría un sistema activo de producción de semilla con nexos cercanos a la investigación y extensión para lograr una reposición más rápida (Heisey 1990).

La información sobre las formas de adquisición y uso de la semilla mejorada permitió estimar que más del 85% de los agricultores reemplazan la semilla mejorada (variedades o híbridos)³ en tres o menos ciclos de cultivo, mientras que casi un 25% de los agricultores cambian la semilla después de un ciclo de uso (Cuadro 12).

Cuadro 9. Tipo de semilla mejorada y forma de adquisición. Jutiapa, Guatemala, 1991

Semilla y forma de adquisición	Agricultores	Porcentaje
Híbrida comprada	26	46
Híbrida cambiada o guardada	31	54
Mejorada comprada	21	35
Mejorada cambiada o guardada	39	65

Cuadro 10. Lugar de origen más comunes para la compra de semilla de maíz. Jutiapa, Guatemala 1992

Lugar de origen	Tipo de semilla (% de agricultores)	
	Criollas	Mejoradas
Agricultor de su propia aldea	80	34
Agricultores fuera de la aldea	20	
Tienda agrícola en el municipio		18
Tienda agrícola fuera del municipio		18
Productor artesanal		6

Cuadro 11. Formas de adquirir semilla mejorada de maíz preferidas por los agricultores

Formas de adquisición	Porcentaje de agricultores en la muestra
Selección el mejor grano	37
Producción artesanal	26
Compra a una casa comercial	17
Compra a productor artesanal	15
Compra a una cooperativa	5

² No se distinguió entre variedades mejoradas y materiales híbridos por lo que las preferencias respecto a la formas de adquisición se refiere a materiales mejorados en general.

³ No se detectaron diferencias significativas entre híbridos y variedades mejoradas.

Esta información es importante ya que el horizonte de tiempo en el cual los agricultores reemplazan sus semillas es muy importante para el establecimiento de políticas agrícolas ya que los períodos de reemplazo considerados como óptimos por los fitomejoradores y agentes proveedores de semilla a menudo subestiman la duración del ciclo de reemplazo usado por el agricultor (Heisey y Brennan 1991).

Una de las condiciones que los agricultores consideran importante en la determinación del número de ciclos a usar es el precio de la semilla. Un 74% de los agricultores manifestaron no estar de acuerdo con el precio que conocen de la semilla mejorada. Sin embargo, al consultarles sobre cuál sería el precio máximo que pagaría por ésta, el promedio resultó ligeramente superior al promedio del precio que ellos revelaron conocer de la semilla (Cuadro 13).

Si se comparan los precios que los agricultores dicen conocer con los precios reales de la semilla (Cuadro 14) se aprecia que los agricultores de Jutiapa tienen una idea bastante acertada del valor comercial de la semilla mejorada y que estarían dispuestos a pagarlo si las condiciones de los demás aspectos relacionados con la comercialización fueran de su conveniencia.

Cuadro 12. Número de ciclos de siembra que los agricultores usarían la semilla mejorada

Ciclos de uso de la semilla mejorada	Porcentaje de agricultores
1	24
2	36
3	26
4 o mas	14

Cuadro 13. Precio conocido y precio máximo que el agricultor estaría dispuesto a pagar por semilla mejorada, Jutiapa, Guatemala, 1991.

	Precios (Q/kg.)	
	Conocido por agricultor	Máximo que pagaría
Promedio	3.02	3.48
Moda	2.17	2.17
Mínimo	0.54	0.54
Máximo	17.39	10.87
n	112.00	113.00

Cuadro 14. Precios relativos del grano y de la semilla mejorada de maíz. 1981-1994

Años	Precio grano ¹ (Q/kg.)	Precio de la semilla mejorada ² (Q/kg.)		Precio relativo semilla mejorada al grano	
		Var.	Híb.	Var.	Híb.
1981	0.223	0.674	0.826	3.02	3.71
1982	0.200	0.696	0.870	3.49	4.36
1983	0.223				
1984	0.193	0.860		4.44	
1985	0.218	1.080		4.94	
1986	0.402	0.870	0.978	2.16	2.44
1987	0.410	1.000	1.330	2.44	3.24
1988	0.383	1.087	1.413	2.83	3.68
1989	0.560	1.304	1.630	2.33	2.91
1990	0.889	1.522	2.174	1.71	2.44
1991	0.867	4.130	4.783	4.77	5.52
1992	0.895	4.348	4.783	4.86	5.35
1993	1.189	4.348	4.783	3.66	4.02
1994	1.308	5.117	5.815	3.91	4.44
Prom					

Fuente: 1/ Disciplina de semilla del ICTA.

2/ Precios al mayoreo. Sección Noticias de Mercado, INDECA. Los precios de la semilla son del sector público. Los precios de semilla del sector privado fueron en 1993 un 37% más altos para los materiales híbridos y un 18% superiores para las variedades mejoradas (Veliz, 1993)

LA ADOPCION DE VARIEDADES MEJORADAS

Marco conceptual

Para explicar el modelo conceptual usado para estimar la demanda de semilla mejorada se considera que el agricultor se enfrenta con la decisión de elegir entre dos alternativas: usar semilla criolla ($j=0$) o usar semilla mejorada ($j=1$). La elección de un determinado tipo de semilla depende de la utilidad que las características o atributos de la semilla tengan para el agricultor i -ésimo (X_{ij}) y de las características (circunstancias internas y externas) del agricultor y su finca (C_i). Es decir, que cada agricultor valora en forma diferente las características de las alternativas de acuerdo con las circunstancias internas y externas que enfrenta.

De esa manera, la utilidad de un determinado tipo de semilla j para el i -ésimo agricultor (V_{ij}) se representa por la función:

$$[1] \quad V_{ij} = V(X_{ij}, C_i)$$

donde X_{ij} representa el conjunto de características de cada una de los tipos de semillas alternativos y C_i el conjunto de características del agricultor. El subíndice i

indica que tanto el conjunto de alternativas como el de características puede ser diferente para distintos agricultores.

En una muestra aleatoria de agricultores es casi imposible que el investigador pueda observar todos los elementos de X_{ij} , σ de C_i o que conozca con exactitud cual es la función de utilidad de los agricultores. Entonces es posible dividir la función de utilidad en dos partes: una parte determinística o sistemática formada por la función [1] y otra parte aleatoria que representa todos los elementos no observados y toda la incertidumbre del investigador respecto a aquellos aspectos de la función de utilidad que son desconocidos. Es decir:

$$[2] \quad U(X_{ij}, C_i) = V(X_{ij}, C_i, \beta) + \varepsilon_{ij}$$

donde, β es un vector de parámetros a ser estimados, y ε_{ij} un vector de variables aleatorias.

De acuerdo con Manski (1977) hay cuatro fuentes de incertidumbre que justifican la presencia de ε_{ij} : 1) características no observables. Ni el investigador ni el propio agricultor conocen perfectamente el vector de características de las semillas; 2) variaciones no observadas en las preferencias de los agricultores. Las preferencias individuales varían entre los agricultores dentro de un dominio de recomendación y esta variabilidad es capturada en este término aleatorio; 3) errores en las medición tanto de las características de las alternativas tecnológicas como en las circunstancias de los agricultores; y 4) error en la especificación de la forma de la función de utilidad. Usualmente se asume una forma lineal lo cual puede inducir a errores.

La introducción del término aleatorio significa que aun conociendo la parte sistemática de la utilidad el investigador no podría estar seguro de cual sería la elección de un determinado agricultor. En su lugar, se puede representar la probabilidad de que el agricultor i -ésimo elija cada una de las alternativas como:

$$[3] \quad P_r(y_i = 0) = P_r(U_{i0} > U_{i1})$$

$$P_r(y_i = 1) = P_r(U_{i1} > U_{i0})$$

Es decir que el agricultor elegirá el tipo de semilla que le de la mayor utilidad. Dado el modelo de utilidad aleatoria (MUA) especificado en la expresión [3] es posible expresar la probabilidad de que el i -ésimo agricultor elija usar la semilla mejorada (alternativa 1) como:

$$[4] \quad P_{i1} = \Pr(\varepsilon_{i0} - \varepsilon_{i1} < V_{i1} - V_{i0})$$

La parte derecha de la desigualdad corresponde a la parte sistemática de la función de utilidad y se puede definir como un índice de utilidad I_i . Cuanto más grande sea este índice mayor será la diferencia entre las partes sistemáticas de las utilidades derivadas de la alternativa 1 sobre la alternativa 0 y mayor será la probabilidad de que el agricultor adopte la semilla mejorada. Suponiendo que la parte sistemática de la utilidad es una función lineal en los parámetros de las características de la semilla y del agricultor, el índice de utilidad se puede expresar:

$$[5] \quad I_i = Z_i \beta$$

La parte izquierda de la desigualdad está formada por la diferencia de dos variables aleatorias por lo que es también una variable aleatoria.

Sustituyendo la expresión [5] en la [4], y haciendo $e_i = (\varepsilon_{i0} - \varepsilon_{i1})$ se tiene:

$$[6] \quad P_{i1} = \Pr(e_i < Z_i \beta)$$

Por lo tanto la probabilidad de que la alternativa 1 sea adoptada es igual a la probabilidad de que la variable aleatoria definida por la diferencia entre los términos aleatorios de las alternativas sea menor o igual al índice de utilidad I_i . La probabilidad de que una variable aleatoria sea igual menor que un valor determinado está dado por la función de distribución acumulativa (fdc) de esa variable aleatoria. Por lo tanto:

$$[7] \quad P_{i1} = \Pr(e_i < Z_i \beta) = F(Z_i \beta) = F(I_i)$$

Assumiendo que la variable aleatoria e_i tiene una función de distribución logística se obtiene:

$$[8] \quad P_{i1} = F(I_i) = \frac{1}{1 + e^{-I_i}}$$

La función [8] es la base del modelo logit usado en el modelo empírico de este trabajo para estimar la probabilidad de adopción de las variedades mejoradas.

MODELO EMPÍRICO

Variable dependiente

Adopción: Los factores observados en la encuesta no estaban diseñados con la precisión suficiente para discriminar en la decisión del agricultor de adoptar o

una variedad mejorada o un híbrido, por esta razón se decidió agrupar a estos materiales en una sola categoría: variedades mejoradas. De esta manera el modelo empírico propuesto intenta determinar los factores que influyen en la decisión de adoptar en forma parcial o total un material mejorado sin diferenciar entre si se trata de un híbrido o una variedad mejorada.

La variable dependiente es una variable cualitativa que clasifica a los agricultores en tres categorías. El valor 0 representa al agricultor que no ha adoptado una variedad mejorada. El valor 1 representa al agricultor que ha adoptado la semilla mejorada en forma parcial, es decir, que sembró parte de la superficie con maíz con semilla criolla y parte con semilla mejorada. El valor 2 representa al agricultor totalmente adoptador que siembra toda la superficie con variedades mejoradas. El Cuadro 15 muestra las proporciones de cada una de estas categorías encontradas en la muestra.

Para estimar la probabilidad de adopción parcial o total se normaliza la expresión [6] en términos de las alternativas de no adopción y se estiman las dos funciones logit siguientes (Gugajarati 1988, Train 1990):

$$[7] L1 = \ln \left[\frac{\Pr(Y = 1 / Z_i)}{\Pr(Y = 0 / Z_i)} \right] = \alpha_{10} + \sum b_{1i} Z_i$$

$$[8] L1 = \ln \left[\frac{\Pr(Y = 2 / Z_i)}{\Pr(Y = 0 / Z_i)} \right] = \alpha_{20} + \sum b_{2i} Z_i$$

El impacto de las variables individuales sobre la probabilidad de adopción parcial o total se estima mediante el cálculo de las elasticidades. La elasticidad ϵ mide el cambio porcentual en la probabilidad de adopción ante un cambio porcentual en el factor. Se calcula como:

$$[9] \quad \epsilon_i = \Delta * X_i / P = b_i * X_i * (1 - P)$$

donde $\Delta = \frac{\partial P}{\partial X_i} = b_i * P * (1 - P)$ representa el impacto marginal del factor i .

A continuación se describen las variables independientes incluidas en el modelo, sus efectos esperados y sus principales características en la muestra.

Cuadro 15. Variable dependiente, proporción de cada categoría en la muestra

Categoría	Porcentaje
No adoptador (Yi = 0)	47.8
Parcialmente adoptador (Yi = 1)	33.2
Totalmente adoptador (Yi = 2)	19.0

Variables independientes

Características de la finca

Sistema: Es una variable dicotómica que toma el valor 1 si los agricultores siembran alguna parcela de maíz en monocultivo, y 0 si todo el maíz se siembra asociado a otro cultivo. Se espera que los agricultores que siembren alguna parcela en monocultivo tiendan a usar más semilla de maíz mejorado que aquellos que siembran maíz en asocio. Es probable que el cambio del sistema tradicional a monocultivo esté impulsado por motivos relacionados con el incremento en productividad y rentabilidad y, por lo tanto aquellos agricultores que cambian el sistema también cambian a variedades mejoradas buscando una rentabilidad mayor.

Distancia: Esta variable representa la distancia en km. de la parcela del agricultor al municipio donde se encuentra la plaza comercial más cercana donde adquiere insumos y vende su producto. Tanto la distancia como el tiempo que tarda el agricultor en recorrerla, son circunstancias que determinan en mucho la facilidad del campesino para obtener insumos agrícolas, vender sus productos y recibir servicios de asistencia técnica. Como circunstancia de vida este factor juega un importante rol en la decisión de un agricultor para usar o no semilla mejorada de maíz y otros insumos agrícolas. Se considera que a mayor distancia, mayores serán los costos no solo de adquisición de la semilla, sino también de adquirir o recibir información (asesoría técnica) sobre sus características y manejo. Por lo tanto se espera una relación inversa: agricultores ubicados a mayor distancia del municipio tendrán menor probabilidad de adoptar la semilla mejorada.

Se consideró que la relación entre distancia y costos de transacción no era lineal por lo que se incluyó además un término cuadrático para capturar este efecto.

DIGESA: Variable dicotómica que toma el valor 1 si el agricultor conoce por al menos un año el programa de producción artesanal de semilla desarrollado por DIGESA, y 0 si no lo conoce. Esta variable captura el grado de información de los agricultores sobre la producción artesanal de semilla por lo que se espera una relación directa entre esta variable y la probabilidad de adopción.

Familia: Tamaño del núcleo familiar medido por el número de personas que viven en la casa del agricultor. Se espera que entre más numerosa sea la familia menor será la probabilidad de usar semilla mejorada. El sustento de esta hipótesis se basa en dos argumentos. Por un lado, familias más numerosas necesitan mayores cantidades de maíz para satisfacer el consumo interno el cuál se realiza preferentemente con maíz criollo. Por otro lado, familias más numerosas destinan mayor proporción del ingreso total a satisfacer necesidades vitales y por lo tanto es probable que tengan mayores restricciones presupuestarias para la adquisición de semilla mejorada.

Tamaño: Tamaño en hectáreas de la finca. Numerosos trabajos anteriores incluyen al tamaño de la explotación como una de las características de la finca más relacionada con la adopción de nuevas tecnologías. Es usada también para caracterizar el sesgo distributivo de la nueva tecnología. Se espera que a mayor tamaño menores serán las restricciones de recursos financieros y de tierra para su adopción y por lo tanto mayor será la probabilidad de adoptar la semilla mejorada.

Tenencia: Variable dicotómica que toma el valor 1 si el agricultor posee al menos parte de la finca en propiedad, y 0 si no posee ninguna. La tenencia ha sido un factor importante mencionado en la literatura sobre adopción de nuevas tecnologías especialmente en casos de aquellas dirigidas a la conservación de recursos o que requieren de una inversión inicial considerable. En el caso de semillas mejoradas se espera una relación positiva entre la propiedad de la tierra y la probabilidad de adopción debido al efecto riqueza. Aquellos agricultores con tierra en propiedad son mas ricos que los que no tienen y por ello más probable que adopten la semilla mejorada.

Asociación: Variable dicotómica que toma el valor 1 si el agricultor pertenece a ninguna organización local (asociación, cooperativa, comité comunal, etc.) y 0 si no pertenece a alguna organización. En la literatura sobre adopción de nuevas tecnologías, la afiliación de los campesinos a organizaciones locales o regionales

frecuentemente se reporta como un factor muy relacionado a la adopción de nuevas técnicas de producción. Se espera que una mayor participación en organizaciones campesinas incrementa las alternativas de obtener servicios de asistencia técnica, crédito u otras formas de asistencia económica reduciendo los costos de adquirir información e incrementar la probabilidad de adopción de semilla mejorada.

Finanext: Variable dicotómica que toma el valor 1 si el agricultor usa alguna fuente de financiamiento externo a la finca para la producción de maíz y 0 si no lo hace. Esta es otra variable que también se reporta en la literatura como un factor importante sobre la decisión de adopción. Se espera que el acceso al crédito facilite el uso de estos insumos comprados fuera de la finca como la semilla mejorada.

Características del agricultor

Edad: Edad del agricultor en años. La edad es una de las características del agricultor que se menciona frecuentemente en la literatura como un factor de importancia en la adopción de nuevas tecnologías. Aunque los resultados encontrados en trabajos anteriores no son concluyentes, se espera que los agricultores jóvenes sean más receptivos a las nuevas tecnologías y por tanto más innovadores.

Educación: Variable dicotómica que toma el valor 1 si el agricultor tiene al menos un año de escuela y 0 si no tiene educación formal. El nivel de educación es otra característica del agricultor, además de su edad, que más frecuentemente se relaciona en la literatura con mayores tasas de adopción de nuevas tecnologías. Un alto nivel educativo se ha vinculado consistentemente con mayores tasas de adopción.

La variable que más se ha usado para reflejar el nivel de educación es el número de años de educación del agricultor, sin embargo, muchos de estos casos corresponden en su mayoría a trabajos realizados en países desarrollados donde esta variable presenta una variabilidad razonable. En el caso del presente trabajo el nivel de educación formal de los agricultores en la muestra fue muy bajo. Un 43% de los agricultores no posee ningún tipo de escolaridad y un 54% de ellos recibieron un promedio de dos años de educación primaria y sólo un 3% tiene educación secundaria.

Clasificación campesina de la tierra

Plana: Porcentaje de la superficie cultivada con maíz que el agricultor considera plana. Estudios previos recientes (Bellon y Taylor, 1993) han mostrado la importancia de la clasificación campesina de los suelos sobre la adopción de nuevas tecnologías especialmente cuando existe adopción parcial. Se espera una asociación positiva entre esta variable y la probabilidad de adopción de variedades mejoradas ya que es probable que el agricultor invierta más en tierras planas con mayores probabilidades de altos retornos que en aquellas tierras en laderas.

Mala: Porcentaje de la superficie cultivada con maíz que el agricultor no considera como una buena tierra para el cultivo de maíz. Además de las características topográficas los agricultores también clasificaron la tierra de cultivo en tres categorías de calidad: pedregosa, erosionada, y buena (Cuadro 16). Para la definición de esta variable se agruparon las categorías pedregosa y erosionada en una sola que define a la tierra como no buena en el criterio del agricultor. Se debe considerar que una tierra pedregosa no necesariamente tiene una baja fertilidad. Esta variable dice simplemente que el agricultor no la considera como buena. En este caso se espera una relación inversa por la misma razón esgrimida anteriormente: es más probable que el agricultor invierta en tierras que él/ella considere de mejor calidad que en aquellas que considera de menor calidad.

Cuadro 16. Caracterización campesina de las parcelas de maíz

	Pedregosa	Erosionada	Buena
Número de agricultores	196	196	196
Superficie (porcentaje)	28%	14%	58%

Los Cuadros 17 y 18 resumen las variables incluidas y sus características más importantes en la muestra.

RESULTADOS

Los resultados de la estimación mediante el método de máxima verosimilitud de las ecuaciones 8 y 9 pueden considerarse satisfactorios. El modelo ajusta bien de acuerdo con las distintas pruebas estadísticas propuestas en la literatura. La mayor parte de las variables incluidas tienen los signos esperados y son estadísticamente significativas (Cuadro 19).

La ecuación 6 fue usada para estimar la probabilidad de adopción de semilla mejorada para un agricultor típico y otros tipos de agricultores calculada a los valores promedios de las variables cuantitativas (Cuadro 20). De acuerdo con los valores más frecuentes encontrados en la muestra un agricultor típico de maíz en Jutiapa se caracteriza por tener parte de la tierra en propiedad (69%), no participar en ninguna asociación (86%), no conocer a DIGESA (74%) y sembrar todo su maíz en asocio con otro cultivo (58%). Los otros tipos de agricultores son definidos por cambios en las variables cualitativas cuyos coeficientes resultaron diferentes de cero: sistema de cultivo, información sobre DIGESA, participación en una asociación y tenencia de la tierra.

Las probabilidades asociadas con cada uno de ellos reflejan cambios en la probabilidad de adopción respecto al agricultor típico ante un cambio en el nivel de la variable cualitativa que se trate manteniendo las demás al nivel definido para el agricultor típico.

Cuadro 17. Variables independientes cuantitativas, efecto esperado y estadísticas descriptivas

Variable	Efecto esperado	Estadísticas descriptivas en la muestra esperado			
		Media	Desv. Est.	Min.	Max.
Distancia. Distancia en km. Desde la parcela al municipio más cercano.	-	8.08	7.47	0.00	36
Edad. Edad del agricultor en años.	-	44.40	14.50	17.00	81
Tamaño. Tamaño total de la finca en hectáreas.	+	3.30	2.97	0.50	625
Familia. Número de miembros que forman la familia	-	5.93	2.42	1.00	13
Plana. Porcentaje de la superficie cultivada con maíz que el agricultor considera plana.	+	0.47	0.43	0.00	1
Mala. Porcentaje de la superficie cultivada con maíz que el agricultor considera pedregosa o erosionada	-	0.35	0.41	0.00	1

Cuadro 18. Variables independientes cualitativas, efecto esperado y estadísticas descriptivas

Variable	Efecto esperado	Proporción en la muestra
Sistema. Toma el valor 1 si el maíz se siembra en monocultivo.	+	0.42
Educación. Toma el valor 1 si el agricultor ha ido a la escuela.	+	0.56
Digesa. Toma el valor 1 si el agricultor tuvo información sobre el programa de DIGESA.	+	0.26
Tenencia. Toma el valor 1 si el agricultor posee parte de la finca en propiedad.	+	0.69
Asociación. Toma el valor 1 si el agricultor participa en al menos una asociación local.	+	0.14
Crédito. Toma el valor 1 si el agricultor hace uso del crédito en la producción.	+	0.10

Cuadro 19. Factores que afectan la adopción de variedades mejoradas en Jutiapa: Modelo logístico multinomial

	Normalización sobre no adopción		Adopción total	
	Adopción parcial			
SISTEMA	1.265*	(0.41)	1.246*	(0.48)
DISTANCIA	-0.118‡	(0.08)	-0.044	(0.09)
CUADIST	0.0041‡	(0.0025)	0.003	(0.0027)
EDAD	0.081	(0.09)	-0.132 ‡	(0.09)
CUAEDAD	-0.0009	(0.001)	0.0015 ‡	(0.0009)
EDUCACION	0.149	(0.405)	-0.20	(0.499)
DIGESA	1.285*	(0.476)	1.07 †	(0.574)
LOGTAMAÑO	0.616*	(0.218)	0.635 *	(0.255)
TENENCIA	1.213*	(0.473)	0.953 †	(0.586)
ASOCIACION	1.311 †	(0.609)	1.473†	(0.705)
CREDITO	-0.414	(0.67)	-0.036	(0.756)
FAMILIA	-0.008	(0.082)	-0.18†	(0.107)
PLANA	0.853 †	(0.494)	1.114 †	(0.611)
MALA	-0.08	(0.50)	0.585	(0.622)
Constante	-4.384		-0.361	

Log-likelihood modelo completo: -158.4
 Log-likelihood modelo restringido: -200.0
 Porcentaje predicho correctamente: 63.2
 McFadden pseudo R²: 0.21
 n = 193
 $\chi^2(28) = 80.9$

Los valores entre paréntesis son errores estándar asintóticos.

* Significativo al nivel de 1%, una cola.

† Significativo al nivel de 5%, una cola.

‡ Significativo al nivel de 10%, una cola.

Cuadro 20. Probabilidades de adopción de semilla mejorada de maíz entre varios tipos de agricultores

	Probabilidades de adopción	
	Parcial	Total
Agricultor típico	0.24	0.18
Monocultivo	0.44	0.25
DIGESA	0.44	0.26
Asociación	0.40	0.34
Propiedad tierra	0.10	0.07

De acuerdo con los resultados sobre la probabilidad de adopción de semilla mejorada reflejados en el Cuadro 20, para un agricultor típico de Jutiapa, la probabilidad de usar semilla mejorada en forma parcial es de un 24% y en forma total de un 18%.

Un factor que incide en forma significativa en la probabilidad de adopción es el hecho de si el agricultor decide sembrar al menos parte de su maíz en monocultivo. En este caso, tal como fuera postulado, la probabilidad de que el agricultor use semilla mejorada en forma parcial se incrementa en un 80% y entre un 40 y un 50% que la use en forma total. Este resultado indica la posibilidad que el cambio de sistema de cultivo, en parte o en el total de la superficie, y la decisión de adoptar semilla mejorada sea una decisión conjunta.

Dos factores que tienen un impacto similar al anterior sobre la probabilidad de adopción de un agricultor típico se relacionan con el nivel de información que posee. Uno de ellos se refiere directamente al conocimiento que tiene el agricultor del programa de DIGESA. En este caso el impacto sobre la probabilidad es similar al encontrado para el cambio del sistema de cultivo. El otro factor, es la participación en organizaciones locales. En este caso el impacto se destaca en la decisión de usar semilla mejorada en la totalidad del área dedicada a la siembra del maíz. La presencia de este factor casi duplica la probabilidad de que el agricultor típico siembre la totalidad de la superficie dedicada a maíz con semilla mejorada. Los coeficientes asociados con las variables relacionadas con la participación en organizaciones comunales y con conocimiento del programa de DIGESA resultaron con los signos esperados y significativos por lo menos al 5% de probabilidad tanto para adoptadores parciales como totales. La participación en organizaciones comunales disminuye los costos de adquirir información y aumenta la probabilidad de adopción de semilla mejorada. Este resultado coincide con aquellos encontrados por Harrington *et al.*, 1992, Belknap y Saupe 1988, Herdt

y Capule, 1983. La importancia del programa de DIGESA puede ser medida a través del impacto asociado a un cambio en esta variable.

El cuarto factor que resultó importante en la decisión de usar semilla mejorada fue la propiedad de la tierra. Si el agricultor no tuviera tierra propia la probabilidad de usar semilla mejorada en forma parcial o total se reduce en un 60%. Es importante reconocer que aun cuando los retornos a la inversión en semilla mejorada se recuperan inmediatamente, este resultado estaría indicando la importancia de restricciones financieras. Es probable que las tasas mínimas de retornos para aquellos agricultores que no poseen tierras propias sean demasiadas elevadas como para inducirlos a invertir en nuevas semillas.

El Cuadro 21 muestra la elasticidad de la probabilidad de adopción respecto a las variables cuantitativas que resultaron estadísticamente significativas. Las elasticidades se calcularon, usando la ecuación 9, para el caso del agricultor típico. A continuación se analizan las variables agrupadas por tipo.

Características de la finca:

Distancia: Tal como fuera esperado, una mayor distancia a los mercados afecta negativamente la probabilidad de adoptar semilla mejorada. Un aumento del 10% en la distancia reduce la probabilidad de adopción parcial o total por parte de un agricultor típico en un poco más del 3%. Estos valores son consistentes con los encontrados por Gottret et al., 1993.

Cuadro 21. Elasticidades de la probabilidad de adopción (cambio porcentual en la probabilidad de adopción ante un incremento de 1% en el factor)

	Agricultor típico	
	Parcial	Total
Características de la finca		
DISTANCIA	-0.32	-0.34
TAMAÑO	0.47	0.51
FAMILIA	-0.04	-0.04
PLANA	0.31	0.33
Características del agricultor		
EDAD	0.04	0.04

Tamaño: Es la variable que tiene un mayor impacto sobre la probabilidad de adopción. Un aumento del 10% en la superficie total de la finca conlleva un aumento de aproximadamente el 5% en la probabilidad de adopción total o parcial. El tamaño de la finca y el hecho de tener tierra en propiedad son dos características que afectan positivamente la probabilidad de adopción ya sea en forma parcial o total. Una mayor superficie de la finca y la propiedad de tierras son indicadores de mayor riqueza e ingreso que, a su vez, está muy relacionado con la posibilidad de adquirir más y mejores insumos agrícolas. Estos resultados son consistentes con aquellos encontrados en otros trabajos sobre adopción de nuevas tecnologías. (Brush *et al.*, 1990, Belknap y Saupe 1988, y Rahm and Huffman, 1984).

Familia: Tal como fuera mencionado con anterioridad el número de integrantes del núcleo familiar afecta negativamente la adopción de semilla mejorada en el caso de adopción total; sin embargo, no juega un papel importante en la adopción parcial. Este resultado es consistente con la hipótesis sobre la importancia del maíz criollo en el autoconsumo. En el caso de la adopción parcial el número de miembros de la familia no es importante ya que las necesidades se satisfacen con el maíz criollo sembrado. Este resultado es consistente con los hallazgos de Brush *et al.*, 1990 y de Rauniyar y Goode, 1990.

Clasificación campesina de los suelos: De las dos variables incluidas para capturar el efecto de la clasificación campesina de los suelos solo aquella relacionada con la topografía resultó significativa. Un incremento del 10% en la proporción de tierra dedicada al maíz considerada por el agricultor como plana, eleva en poco más del 3% la probabilidad de adopción total o parcial de semilla mejorada. La clasificación campesina relacionada con la calidad de suelo (tierra pedregosa o erosionada) no parece afectar en forma significativa la probabilidad de adopción de variedades. Estos resultados son parcialmente consistentes con aquellos reportados por Bellon y Taylor quienes encontraron una clara asociación entre calidad de suelos y adopción de variedades mejoradas de maíz en Chiapas, México (Bellon y Taylor 1993).

Finanext: Aunque los coeficientes asociados con la disponibilidad de financiamiento extra finca tuvieron signos contrarios a lo esperado tanto en el caso de adopción parcial como total, no resultaron estadísticamente significativos a ningún nivel relevante de probabilidad. Una posible explicación para este resultado es el bajo nivel de uso de fuentes de

financiamiento afuera de la finca. Sólo un 17% de los agricultores posee algún tipo de financiamiento extra finca los cuales provienen de el crédito brindado por el Banco Desarrollo Agrícola (11%) y el alquiler de servicios de bueyes y mano de obra (6%).

Características del agricultor:

Edad: El coeficiente asociado con la edad del agricultor no resultó estadísticamente significativo en el caso de la adopción parcial, sin embargo si existe una asociación inversa significativa entre la edad y la siembra de toda la superficie de maíz con semilla mejorada. Es decir que son los agricultores más jóvenes los que tienen mas probabilidad de cambiar la variedad en forma total aunque su impacto no es muy importante. Un incremento de un 10% en la edad del agricultor reduce la probabilidad de usar variedades mejoradas en toda la superficie en solo 0.4%.

Educación: Los coeficientes relacionados con el nivel de educación de los agricultores no resultaron estadísticamente significativos a ningún nivel relevante de probabilidad en ninguna de las dos ecuaciones. Contrariamente a lo encontrado en otros trabajos sobre adopción de tecnologías el nivel de educación no resultaron significativas a ningún nivel relevante de probabilidad en el caso de la adopción parcial, sin embargo si existe una asociación inversa entre la edad y la siembra de toda la superficie de maíz con semilla mejorada.

CONCLUSIONES

Los agricultores del departamento usan y prefieren dos variedades mejoradas de polinización abierta (B-1 y B-5) y dos híbridos (H-5 y H-3). Si bien no se tiene información sobre el número real de ciclos que el agricultor usa estos materiales, sin embargo las formas de adquisición reportadas y preferencias indican que la mayoría de los agricultores usan la semilla entre 1 y 3 ciclos agrícolas. Los niveles de precios relativos de la semilla mejorada encontrados (entre 3.5 y 5) son considerados adecuados para los agricultores.

Los resultados muestran que el programa tuvo un impacto significativo en la adopción y difusión de semilla mejorada en el departamento. A nivel de agricultor, involucrarse con el programa por un mínimo de 1 año incrementa en forma significativa la probabilidad de usar semilla mejorada. Este impacto se refleja a nivel agregado por el incremento de la tasa de

crecimiento en el uso de variedades mejoradas que se registra a partir de 1986.

También relacionado con el nivel de información que maneja el agricultor, se encontró que aquellos agricultores que participan en asociaciones comunales también incrementan la probabilidad de usar semillas mejoradas. El uso de variedades mejoradas se encuentra asociado a un cambio en el sistema de siembra de maíz asociado a maíz en monocultivo.

Un agricultor que siembra parte o toda su parcela en monocultivo incrementa en forma significativa la probabilidad de uso de semilla mejorada. Es probable que el agricultor que siembra en monocultivo destine el producto exclusivamente al mercado por lo que la productividad de la parcela juegue un rol preponderante en la decisión de que variedad usar, mientras que preferencias sobre el consumo jueguen un papel secundario. Esta hipótesis es apoyada por el resultado encontrado sobre el impacto del número de miembros en la familia campesina. Este factor no es importante en la adopción parcial pero si es limitante en el caso de adopción total.

Dos factores importantes para la estrategia de extensión usada en el programa son: la influencia que tiene el costo de adquirir insumos e información reflejados por la distancia del agricultor al centro de abastecimiento y el tamaño de la finca. Los resultados confirman que aquellos agricultores mas lejanos a los centros tienen menos probabilidad de usar semilla mejorada. Lo mismo para aquellos agricultores más pequeños.

Las futuras estrategias de extensión deben considerar estos factores al establecer sus prioridades. Una difusión más rápida requiere mayor esfuerzo promocional de los extensionistas agrícolas, y aumentar los canales de distribución. Si bien la propiedad de la tierra es un factor que afecta el uso de variedades mejoradas en forma significativa, su importancia relativa no es tan considerable como los anteriores.

Un resultado importante por sus implicaciones para investigación y extensión es el hecho de que los agricultores del departamento tienden a sembrar semillas mejoradas en tierras planas más que en las laderas. Este hallazgo es consistente con la hipótesis mencionada anteriormente sobre la inversión en nuevas tecnologías.

La edad del agricultor resultó importante solamente en el caso de adopción total. Este resultado confirma la aseveración realizada respecto a la importancia del uso final del producto. Los agricultores jóvenes además de ser menos adversos al riesgo, tienen menos dependientes y por lo tanto tienen más probabilidades de usar la semilla mejorada en la totalidad de la superficie dedicada a maíz.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Robert Tripp, Mike Morris, Ramiro Ortiz, Mario Jauregui, Héctor Barreto, Jerome Fournier, Porfirio Masaya, Elio Durón y Giancarlo de Piccioto por sus comentarios y sugerencias realizadas a una versión preliminar que permitió mejorar enormemente este trabajo. También desean agradecer a la Cooperación Suiza para el Desarrollo (COSUDE), a la Fundación Ford (FF), y al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por el apoyo financiero a las actividades del CIMMYT y el PRM. Sin su generosa contribución este trabajo no hubiera sido posible. Finalmente al ICTA, y al CIMMYT por brindar el apoyo institucional necesario para tener un excelente ambiente de trabajo.

REFERENCIAS

Baltensweiler, M. 1992. Resultados sobre el estudio de los tres sistemas de suministro de semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) en Guatemala. PROFRIJOL-CIAT. Taller realizado para colaboradores del estudio de DIGESA e ICTA. Guatemala.

Belknap, J. and W. E. Saupé, 1988. Farm family resources and the adoption of no-plow tillage in South Western, Wisconsin. North Central Journal of Agricultural Economics. Vol. 10, No. 1, 13-14.

Bellon, Mauricio R. and J. Edward Taylor. 1993. "'Folk' Soil Taxonomy and the Partial Adoption of New Seed Varieties." Economic Development and Cultural Change 41(4), 763-786.

Brush, S., Taylor, E. and M. Bellon. 1990. Biological diversity and technology adoption in Andean potato agriculture. Mimeo. no publicado. University of California, Davis.

CIMMYT. Programa de Economía. 1993. La adopción de tecnologías agrícolas: Guía para el diseño de encuestas. CIMMYT. México, D.F.

Córdova, H. S., Queme J. L. y P. Rosado. 1992. Producción artesanal de semilla de maíz para el pequeño agricultor en Guatemala. PRM, ICTA, DIGESA. Segunda edición. Ciudad de Guatemala, Guatemala.

Echeverría, R, G. 1990. Inversiones públicas y privadas en las investigación sobre maíz en México y Guatemala. Documento de trabajo 90/03 del Programa de Economía del CIMMYT. México, D.F. CIMMYT.

Gallardo E. y Figueroa, R. 1992. Ajuste estructural, términos de intercambio internos y la pequeña producción de granos básicos: el caso de Guatemala. Programa Regional de Reforzamiento a la Investigación Agronómica Sobre los Granos en Centroamérica. San José, Costa Rica.

Gottret, María Verónica, G. Henry and Myriam Cristina Duque. 1993. Going beyond dichotomous adoption: the case of cassava technology on the Atlantic Coast of Colombia. Trends in CIAT commodities, 1993. Working Document No. 128, CIAT, Cali, Colombia. 97 - 118.

Gujarati, Damodar, N. 1988. Basic econometrics. McGraw Hill, Inc. New York. 2nd. Edition.

Harrington, L., Krisdiana, R. and K. Herianto. 1992. On-farm research and farmer adoption of new maize technology in Malang District, Indonesia. MARIF-CIMMIYT, Bangkok, Thailand.

Heisey, P. W. 1990. Accelerating the Transfer of Wheat Breeding Gains to Farmers: A Study of the Dynamic of Varietal Replacement in Pakistán. CIMMYT Research Report #1. México D.F., México.. 84-90.

Heisey, P. W and Brennan, J.P. An analytical model of farmer's demand for replacement seed. Amer. J. Agr. Econ. .Nov. 1991. 1045-1052.

Herd, R.W. and C. Capule. 1983 Adoption, spread, and production impact of modern rice varieties in Asia. International Rice Research Institute. Philippines.

Herrera, D. y M. Jiménez. 1992. El comercio intrarregional de granos en Centroamérica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

Manski, C.F. 1977. The Structure of Random Utility Models: Theory and Decision. 8:229-254.

Ortiz, R., A. Meneses y P. Rosado. 1989. Producción artesanal de semilla mejorada para aumentar las tasas de adopción. XXXV Reunión Anual del PPCMCA. San Pedro de Sula, Honduras.

Ortiz, R., Ruano S., Juárez H., Olivet F., y A. Meneses. 1991. A new model for technology transfer in Guatemala. Closing the Gap between research and extension. International Service for National Agricultural Research, OFCOR-Discussion Paper No 2, ISNAR.

Rahm, M. and W. Huffman. 1984. The adoption of reduced tillage: The role of human capital and other variables. American Journal Economics Association.. 3:7.

- Rauniyar, G. and F. Goode. 1990. An economical analysis of technological adoption in Swaziland. Paper presented at the annual meeting of the Agricultural Economics Association, Vancouver, Canada, 4-8, 2, 3-12.
- Simmons, C.; J.M. Taramo, y J. H. Pinto. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Instituto Agropecuario Nacional, Ministerio de Agricultura. Editorial del Ministerio de Educación Pública.
- Thornton, P.K. and G. Hoogenboom. 1990 Agrotechnology transfer and socio-economic modelling in Guatemala. Department of Agricultural Engineering, University of Georgia, U.S.A.
- Train K. 1990. Qualitative Choice Analysis. Theory, Econometrics and Application to Automobile Demand. The MIT Press, Cambridge, Mass.
- Valladares, C. H. y G. Sain. 1992. Diagnóstico de la industria de la semilla de maíz certificada en Centro América. En J. Bolaños, G. Sain, R. Urbina, and H. Barreto (eds.), *Síntesis de resultados experimentales del PRM 1992*. Guatemala City, Guatemala: PRM.
- Veliz, D. 1993. Diagnóstico sobre la producción de semillas de granos básicos en Guatemala. Tesis sin publicar. Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. Guatemala. 77-90.
- Viana, A. 1990. Evaluación económica del carácter precocidad en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y derivación de planes óptimos económicos de producción. Jutiapa, Guatemala. Tesis para la Maestría en Economía Agrícola. Centro de Economía. Montecillo, México.

Evaluación de Cinco Estructuras de Almacenamiento de Maíz en Chimaltenango, Guatemala 1990-1991

José Luis Quemé¹, Rolando Ochoa², Carlos Acosta³, Kurt Schneider⁴ y William Quemé⁵

RESUMEN

El maíz juega un papel importante en la alimentación de los guatemaltecos. En la producción de este cereal parte de la problemática principal son las deficientes y/o limitadas prácticas de manejo de la postproducción. La Cooperación Suiza al Desarrollo en 1990 inició un proyecto de postcosecha conjuntamente con la Unidad de Postcosecha de DIGESA de Guatemala, surgiendo la presente investigación la cual se ejecutó en los años 1990-91, cuyos objetivos fueron cuantificar el porcentaje de daño, pérdida de grano, factores que influyen en el grano dañado, identificación de insectos, caracterizar cada sistema e identificar alternativas de almacenamiento. El trabajo consistió en evaluar las siguientes estructuras de almacenamiento: Troja Tradicional (TT), Troja Tradicional con Manejo Mejorado (TTMM), Troja Tradicional con Patas (TTCP), Caseta de Secado (CS) y Silo Metálico (SM), dicho estudio se realizó con 88 agricultores en 10 municipios del departamento de Chimaltenango en Guatemala. Entre los resultados relevantes se tiene que el Silo Metálico fue la mejor alternativa con porcentajes de daño y pérdida acumulada menores del 1%, la caseta de secado funcionó adecuadamente en el secado del grano, los factores adversos que más afectaron fueron los roedores, insectos y hongos, y entre los géneros de insectos de mayor importancia están: Sitotroga y Sitophilus. Además se determinaron las características del manejo del cultivo después de la madurez fisiológica, así como el manejo y las características de cada estructura almacenamiento.

El maíz juega un papel importante en la alimentación de los guatemaltecos, ya que la población, principalmente rural obtienen de este cereal alto porcentaje de sus requerimientos proteicos y energéticos.

En Guatemala, el maíz se siembra en un área aproximada de 928 mil manzanas lo que representa el 87% del total de área dedicada a los cereales. El rendimiento promedio nacional es de aproximadamente 28 quintales por manzana, esta baja producción se debe

a varios factores entre los que se pueden mencionar factores socioeconómicos, uso de variedades criollas y/o degeneradas, de bajo potencial de rendimiento, características agronómicas indeseables, deficientes y/o limitadas prácticas de manejo agronómico y postproducción.

La postproducción es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta para su mejora, ya que de lo contrario se tiene la problemática de pérdida de alimentos, disminución de la productividad del cultivo y en algunos casos pérdida de ingreso de divisas.

La Cooperación Suiza al Desarrollo (COSUDE), consciente de la problemática de la postproducción, inició en 1990 un proyecto bilateral de postcosecha en Guatemala. Fue así como surgió el trabajo de la evaluación de diferentes estructuras de almacenamiento en diferentes áreas del departamento de Chimaltenango.

Dicho trabajo se justificó porque en el altiplano central de Guatemala (donde se ubica Chimaltenango), existe una agricultura de subsistencia, con limitados recursos económicos y de tierra, y sobre todo, la mayoría de los agricultores que son pequeños y medianos productores, utilizan estructuras de almacenamiento tradicionales inadecuados para el buen almacenamiento del grano de maíz, provocando pérdidas, ventas del producto a bajo precio y compras con elevados precios en época de escasez.

Otra justificación es debido a que COSUDE en trabajos bilaterales con otros países ganó experiencia y además identificó alternativas de almacenamiento, silo por ejemplo, los cuales reducen las pérdidas hasta cerca de cero por ciento, siendo éste una buena alternativa para Guatemala.

Este trabajo se ejecutó en los años 1990-91, evaluando cinco estructuras de almacenamiento, troja tradicional (TT), troja tradicional con manejo mejorado (TTMM), troja tradicional con patas (TTCP), caseta de secado (CS) y silo metálico (SM). La evaluación se realizó con 88 agricultores en 14 comunidades, ubicadas en 10 municipios del departamento de Chimaltenango, Guatemala.

¹ Coord. Programa Maíz ICTA, ²Coordinador, ³Técnico, ⁴Asesor de la Unidad de Postcosecha y ⁵Especialista en Computo, CIMMYT

Objetivos

1. Cuantificar el porcentaje de daño y pérdida del grano almacenado bajo diferentes estructuras de almacenamiento.
2. Identificar los factores que más influyen en el porcentaje de grano dañado.
3. Identificar los insectos que se presentan en las diferentes estructuras de almacenamiento.
4. Contar con la información de las características de cada sistema previo a su difusión masiva.
5. Identificar la(s) mejor(es) alternativa(s) mejoradas de almacenamiento adaptables a las condiciones de las localidades de estudio.

Hipótesis

1. El comportamiento de la TT es similar a las estructuras mejoradas.
2. La CS disminuye el porcentaje de humedad sin afectar el grano de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidades de evaluación

En el Cuadro 1, se describen los 10 municipios donde se realizó la evaluación, estando comprendidos entre 1,785 a 2,310 msnm, ubicados entre 14° 36' 30" y 14° 47' 24" de latitud; y entre 90° 47' 35" y 91° 00' 53" de longitud.

Epoca de evaluación

La evaluación se realizó a finales del año 1990 y todo el año de 1991.

Selección de agricultores

Con base a la prueba de concepto, los agricultores se seleccionaron a partir de la población de pequeños y medianos productores.

En el Cuadro 2, se detallan los municipios y comunidades donde se realizó la investigación, seleccionando 28 agricultores para evaluar la TT, 15 para la TTCP, 14 para la CS, 15 para la TTMM y 16 para el silo metálico.

ESTRUCTURAS EVALUADAS

Troja Tradicional (TT)

Esta no sufrió ninguna modificación, se dejó al agricultor que la manejara tal como él lo viene realizando a través de los años.

Troja Tradicional con Manejo Mejorado (TTMM)

Se utilizó la TT, modificando en lo que se refiere a selección de las mazorcas, desinfestación de la estructura con Actellic líquido 50 EC a razón de 50 cc/galón de agua; aplicación de Actellic en polvo al 2% a las mazorcas a razón de 29 gr/250 mazorcas.

Troja Tradicional con Patas (TTCP)

La construcción fue de acuerdo a las recomendaciones de la unidad de postcosecha (UP), incluyendo además las modificaciones especificadas en la TTMM.

Caseta de Secado (CS)

La construcción se realizó de acuerdo a las recomendaciones de la UP, se le hizo las mismas modificaciones de la TTMM y además, el maíz se almacenó con alta humedad (24%).

Silo Metálico (SM)

La construcción y manejo del silo fue de acuerdo a las recomendaciones de la UP, utilizando silos de 18 y 30 qq de capacidad y aplicándoles fosfuro de aluminio a razón de 4 pastillas/18 quintales de maíz almacenado.

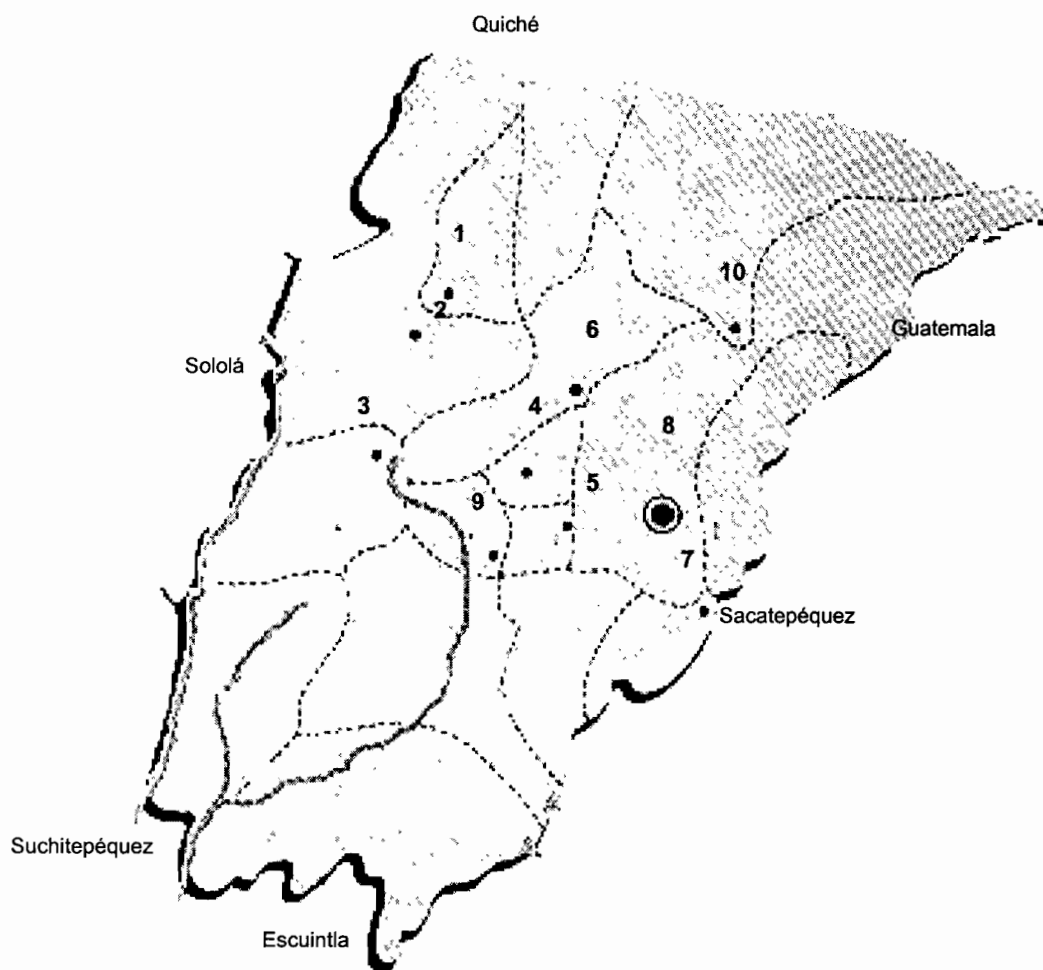
MUESTREOS Y TOMA DE DATOS

Los muestreos se realizaron a intervalos de 30 días, durante todo el año de 1991, siendo el tamaño de la muestra de 10-12 mazorcas las cuales se tomaron del área donde se extrae el grano para el consumo. Seguidamente las muestras se enviaron al laboratorio de la UP para su análisis.

Para la toma de datos se utilizaron tres boletas, la primera para el registro inicial, la segunda del registro periódico y la tercera para el análisis de laboratorio.

Cuadro 1. Municipios del Departamento de Chimaltenango en donde se evaluaron las diferentes estructuras de almacenamiento. 1990-91

Municipio	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud
1. Santa Apolonia	2,310	14° 47' 24"	90° 58' 25"
2. Tecpán Guatemala	2,286	14° 45' 37"	90° 59' 30"
3. Patzún	2,213	14° 40' 45"	91° 00' 53"
4. Santa Cruz Balanyá	2,150	14° 42' 47"	90° 56' 37"
5. Zaragoza	1,849	14° 39' 00"	90° 53' 26"
6. Comalapa	2,115	14° 44' 24"	90° 53' 15"
7. Parramos	1,760	14° 36' 30"	90° 48' 08"
8. Chimaltenango	1,800	14° 39' 38"	90° 49' 10"
9. Patzicia	2,130	14° 37' 54"	90° 55' 35"
10. San Martín Jilotepeque	1,785	14° 46' 48"	90° 47' 35"

**Figura 1. Ubicación de los municipios del departamento de Chimaltenango donde se realizó el estudio 1990-91.**

Cuadro 2: Municipios, comunidades y número de agricultores seleccionados para realizar la evaluación. Chimaltenango 1990-1991.

Estructura de Almacenamiento	Municipio	Comunidad	No. de Agric.
Troja Tradicional (Testigo)	Santa Apolonia	Choantonio	3
	Tecpán, Guatemala	Chirijuyú	5
	Comalapa	Kojol-juyú	5
	Zaragoza	Los Llanos	5
	Patzún	El Sitio	5
Troja Mejorada con Patas	Patzicia	Chimazat	5
	Patzicia	Patzicia	5
	San Martín Jilotepeque	Kanajal de Medina	5
Caseta de Secado	Zaragoza	Joya Grande	5
	San Martín Jilotepeque	Chiarmira	4
	Chimaltenango	Ciénega Grande	5
Troja Tradicional con Manejo Mejorado	San Martín Jilotepeque	Kanajal de Medina	5
	Patzicia	Pahuit	5
	Parramos	Parramos	5
Silo Metálico Plano	Chimaltenango	Cerro Alto	5
	Chimaltenango	Ciénega Grande	5
	Parramos	Parramos	6
	Chimaltenango	Cerro Alto	5

CALCULOS Y ANALISIS EFECTUADOS

- Cálculo de frecuencias
- Medias
- Desviaciones estándares
- Regresiones
- Interpolaciones
- Ajuste de peso al 15% de humedad

La fórmula que se utilizó para el cálculo del porcentaje de pérdida ocasional de la muestra fue la siguiente:

$$P = \frac{(PGS/NGS) * NGdnr}{(PGS/NGS) * NGD * PGS}$$

Donde:

- P = Pérdida
- PGS = Peso de grano sano al 15% de humedad
- NGS = Número de granos sanos
- NGd = Número de granos dañados
- NGdnr = Número de granos dañados no recuperables

Para determinar el porcentaje de grano dañado se hizo mediante el conteo del número de granos dañados de una muestra de 1,000 granos expresada en porcentaje.

RESULTADOS Y DISCUSION

Información general

En esta parte se presentan algunos resultados en promedios y frecuencias, relacionados con la post

producción del cultivo del maíz hasta el almacenamiento, describiendo además las características y condiciones más importantes de las diferentes estructuras.

TROJA TRADICIONAL

Manejo post madurez fisiológica

El 78% de los agricultores que almacenaron en la TT realizaron la práctica de “dobla y despunte”, el 7% solo doblaron y el 15% no realizó la dobla y despunte. Este tipo de manejo la ejecutaron la mayoría de los agricultores en los meses de octubre y noviembre.

Cosecha

El 46% cosecharon en diciembre, el 50% en enero y el 4% en el mes de febrero. La mayoría cosechan sin tuza (67%); 26% con y sin tuza ; y en menor porcentaje existen agricultores que cosechan con tuza (7%).

Variedad y color de grano

Todos los agricultores utilizan variedades criollas, cuyos colores de granos se describen a continuación: amarillo (11% de las trojas), amarillo-blanco (11%), amarillo-negro (3%); amarillo-blanco-negro (43%), blanco-amarillo (14%), blanco-amarillo y negro (18%).

Desgrane y secamiento al sol

El 100% de agricultores no desgrana para almacenar, secando el maíz al sol en promedio de 13 días.

Dimensiones y materiales de construcción

El 68% de las trojas, fueron construidas el piso y las paredes con madera rústica; el 21% de piso de madera rústica y paredes con caña de milpa; el 4% con piso y pared de caña de milpa; otro 4% con piso de madera y paredes de adobe y 3% con otros materiales. Para el techo utilizaron lámina (89%) y teja de barro (11%). Las dimensiones fueron de 1.75, 1.94 y 2.38 m. para la altura, ancho y profundidad de la troja respectivamente; con capacidad de 8.08 m³. Algunas trojas se construyeron sobre el suelo a una altura promedio de 0.27m.

Condiciones de almacén y época de almacenamiento

La condición del almacén se consideró buena en la mayoría de las trojas (93%) y regular en las restantes (7%). La cantidad de maíz almacenado en promedio fue de 40.22 qq, ocupando el 55% del volumen total de la troja. En promedio la fecha de entrojado fue el 25 de enero, con fecha mínima del 23 de diciembre y máxima del 22 de febrero.

Evidencia y control de plagas

La mayor parte de las trojas no presentaron evidencias de roedores (93% de las trojas), lo mismo sucedió con los insectos (86%), maíz germinado (100%), calentamiento (96%) y evidencia de moho (79%). En cuanto al control de plagas, el 43% no hace ningún control, el 7% utiliza cal (5 lbs/troja); 39%, utiliza malathion al 5% (1-2 lbs/troja); el 4% aplica sevin (0.5 lbs/troja); efectuando el control al momento de entrojado.

TROJA TRADICIONAL CON MANEJO MEJORADO

Manejo post madurez fisiológica

Los datos para el manejo provienen de 10 agricultores que utilizaron la TTMM, ya que no se pudo obtener información del total (15). El 10% despuntan y doblan; el 40% doblan y el 50% despuntan, ejecutando dichas prácticas en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

Cosecha

El 7% cosecharon en octubre, 14% en noviembre y el 7% en diciembre, 64% en enero y 7% en febrero. Sin tuza cosecharon el 57% de los casos, con y sin tuza el 7%; y con tuza el 36%.

Variedad y color de grano

El 100% utilizaron variedades criollas con los siguientes colores de granos: amarillo (7%), amarillo-blanco (13%), amarillo-blanco-negro (20%), blanco (7%), blanco-amarillo (20%), blanco-amarillo-negro (33%).

Desgrane y secamiento al sol

El 100% de agricultores no desgranar para almacenar, secando el maíz al sol en promedio de 11 días.

Dimensiones y materiales de construcción

El 14% de las trojas, fueron construidas el piso y las paredes con madera rústica; el 65% con piso de madera y paredes de caña de milpa; y el 21% construidas con caña de milpa tanto para el piso como para las paredes. Para el techo todas las trojas tuvieron lámina. Las dimensiones fueron de 1.43, 1.98 y 1.92 m. para la altura, ancho y profundidad de la troja respectivamente; con capacidad de 5.43 m³.

Condiciones de almacén y época de almacenamiento

El 73% de las trojas estaban bajo condiciones buenas y el 27% en condiciones regulares. La cantidad de maíz almacenado en promedio fue de 20.66 qq, ocupando el 43% del volumen total de la troja. En promedio la fecha de entrojado fue el 26 de enero, con fecha mínima del 27 de noviembre y máxima del 22 de febrero.

Evidencia y control de plagas

La mayor parte de las trojas presentaron evidencias de roedores (73%), evidencia de insectos (73%), maíz germinado (25%), evidencia de moho (54%) y cero porciento para el calentamiento. Para el control de plagas, se utilizó Actellic 50EC líquido y Actellic 2% en polvo, efectuando el control al momento del entrojado.

TROJA TRADICIONAL CON PATAS

Manejo post madurez fisiológica

El 7% de los agricultores que almacenaron las TTCP efectuaron despunte y el 50% dobla y despunte y el 43% no realizó ninguna práctica. El manejo lo ejecutaron en los meses de noviembre y diciembre.

Cosecha

El 7% cosecharon en octubre, 13% en noviembre y el 33% en diciembre y 47% en enero. El 93% cosecharon sin tuza y el 7% restante lo hicieron con tuza.

Variedad y color de grano

El 53% de los agricultores utilizaron variedades criollas, 27% variedades mejoradas y 20% utilizaron criolla y mejorada. En cuanto al color de granos, el 46% de los casos fue amarillo-blanco, 40% amarillo-blanco-negro; 7% blanco y 7% blanco-amarillo-negro.

Desgrane y secamiento al sol

La totalidad de los agricultores no desgranar para almacenar, secando el maíz en promedio 15 días.

Dimensiones y materiales de construcción

El 100% de las TTCP fueron construidas con madera rústica para el piso y la paredes, mientras que para el techo se utilizó lámina. Las dimensiones fueron de 1.77, 1.89 y 2.20 m. para la altura, ancho y profundidad de la troja respectivamente; con capacidad de 7.36 m³.

Condiciones de almacén y época de almacenamiento

Las condiciones de las trojas fueron buenas para el 100% de los casos, la cantidad de maíz almacenado en promedio fue de 30.28 qq, ocupando el 30% de la troja. La fecha de entrojado fue el 25 de enero, con fecha mínima del 18 de diciembre y máxima del 22 de febrero.

Evidencia y control de plagas

El 31% de las trojas presentaron evidencias de roedores, 84% con evidencia de insectos, 84% con evidencia de moho, 25% con maíz germinado, y sin

calentamiento. Para el control de plagas se utilizó Actellic 50EC líquido y Actellic 2% en polvo, efectuando la aplicación al momento del entrojado.

CASETA DE SECADO

Manejo post madurez fisiológica

El 60% de los agricultores efectuaron dobla y despunte, el 40% restante no efectuó ningún manejo. La dobla y el despunte lo efectuaron en los meses de noviembre y diciembre.

Cosecha

El 10% cosecharon en noviembre, el 30% en diciembre y 60% en enero. La cosecha la realizaron sin tuza en el 60% de los casos y con tuza lo hicieron el 40% de los agricultores.

Variedad y color de grano

El 100% de los agricultores utilizaron variedades criollas con los siguientes colores de grano: amarillo (10%), amarillo-blanco (40%), amarillo-negro (10%) y blanco-amarillo-negro (10%).

Desgrane y secamiento al sol

No desgranar para almacenar, secando el maíz al sol por un espacio de 11 días en promedio.

Dimensiones y materiales de construcción

El 33% de las casetas utilizaron madera rústica para el piso y las paredes; 22%, madera para el piso de madera y caña de milpa para las paredes; y el 45% madera para el piso y otros para las paredes. Las dimensiones fueron de 1.58, 0.81 y 2.70 m. para la altura, ancho y profundidad respectivamente; con capacidad de 3.45 m³.

Condiciones de almacén y época de almacenamiento

Las condiciones de las casetas fueron buenas en su totalidad, almacenado 23.09 qq, ocupando el 56.35% del volumen de la caseta. La fecha de almacenamiento promedio fue el 21 de diciembre, con fecha mínima del 7 de diciembre y máxima del 22 de enero.

Evidencia y control de plagas

En el 30% de las casetas existió evidencias de roedores, insectos el 20%, moho 90%, maíz germinado 40% y calentamiento el 10%. Para el control de plagas se utilizó Actellic 50EC líquido y Actellic 2% en polvo, efectuando la aplicación al momento del almacenamiento.

SILO METALICO

Manejo Post Madurez Fisiológica

El 27% de los agricultores doblaron, el 64% despuntaron y el 9% doblaron y despuntaron. El manejo lo ejecutaron en los meses de noviembre, diciembre y enero.

Cosecha

El 7% cosecharon en noviembre, el 54% en diciembre y 39% en enero. La cosecha la realizaron sin tuza en el 31% de los casos y con tuza el 69%.

Variedad y Color de Grano

La totalidad de los agricultores utilizaron variedades criollas, cuyos colores de granos se describen a continuación: amarillo (15%), amarillo-blanco (8%), amarillo-blanco-negro (8%), blanco (54%), blanco-amarillo (8%) y blanco-amarillo-negro (7%).

Desgrane y Secamiento al Sol

El 42% desgrana en forma manual y el 58% utiliza maquinaria. El secamiento al sol lo hacen por espacio de 6 días en promedio.

Condiciones de Almacén y Epoca de Almacenamiento

Las condiciones de los almacenes se consideraron buenas en el 100% de los casos, almacenado 16.08 qq en promedio. La fecha promedio del almacenamiento fue el 20 de febrero con fecha mínima del 12 y máxima del 28 de febrero.

Evidencia y Control de Plagas

En el 70% de los casos existió evidencias de roedores, 100% con evidencia de insectos, 100% con moho, 8% con calentamiento, y sin maíz germinado.

De acuerdo a la información de las cinco estructuras de almacenamiento en estudio, los agricultores realizan la práctica de “dobla y despunte”, efectuando dicha actividad en el mes de noviembre y cosechan en los meses de diciembre y enero. Es común observar también que más del 60% de los agricultores cosechan y secan al sol las mazorcas sin tuza, durando el secamiento aproximadamente 11 días en promedio.

El maíz almacenado en las diferentes estructuras es criollo, cuyas mazorcas en la mayoría de los casos tienen mezclas de color de grano (blanco, negro y amarillo) predominando el color amarillo seguidamente el color blanco.

Una característica importante en las trojas, es que no se ocupa toda la capacidad de éstas, utilizando el espacio restante en algunos casos, para colocar sobre el maíz almacenado herramientas, equipo de campo y otros.

La cantidad de maíz almacenado en las diferentes estructuras tipo troja, varió desde 5.28 qq/troja hasta 125 qq (ver Cuadro 3). El intervalo de la producción coincide con los rendimientos que obtienen los agricultores en las microfincas y fincas subfamiliares, que son los agricultores meta del proyecto. El área de las microfincas oscila entre 0 y 0.7 ha y las subfamiliares entre 0.7 a 7 has., concentrándose el 85% de los agricultores con el grupo que posee de 0 hasta 2.2 ha. siendo el rendimiento promedio de 30.80 qq/ha, por lo tanto, la cantidad de maíz sujeta a almacenamiento será en promedio de unos 40 qq.

Un resumen del inicio y final del almacenamiento se observa en la Figura 2, en donde cada línea representa una estructura, siendo común el inicio del almacenamiento en enero y febrero para las estructuras TT, TTMM, TTCP y CS; los que almacenaron en silo lo hicieron todos en el mes de febrero. Para la mayor parte de las estructuras, el final del almacenamiento se dio en los meses de julio y agosto.

CARACTERISTICAS DEL MAÍZ MULCO

En el Cuadro 3 y Figura 3 se presentan los promedios del maíz que se almacenaron en cada estructura, así también, como el maíz mulco que se identificó antes del almacenamiento, aclarando que éste último no se almacenó.

En promedio el maíz mulco representa un 15% del total del maíz, valor que puede ser un poco más bajo (quizás un 10%) ya que, este cálculo se realizó con el maíz almacenando sin considerar el total del maíz cosechado.

En el Cuadro 4 y Figura 4 se describen algunas características que identifican la diferencia entre el maíz mulco y el maíz almacenado. En general el MM presenta 12 veces más porcentaje de pérdida con respecto al MA, o sea una relación 12:1. Así también, se puede notar que el MM tiene menos granos sanos; mayor número de granos dañados; mayor número de granos no recuperables; menor peso de 1,000 granos, lo cual queda reflejado en el peso hectolitro (69 HL) siendo 7.4 HL menos que el maíz almacenado (76 HL).

La humedad del grano del MM (15%) fue 3% menos que el maíz almacenado (18%) pudiéndose deber a que el MM fue dañado en mayor proporción por insectos (Anexo 1), los cuales se alimentan de una parte del grano con mayor humedad (endospermo). Otra razón puede ser que por el tamaño del grano (pequeño) pierda más fácilmente el contenido de agua.

Los insectos que se identificaron fueron: *Sitophilus zeae*, *Sitophilus oryzae*, *Sitotroga cerealella*. La presencia de insectos, hongos y el tamaño pequeño del grano, caracterizaron a las muestras en la mayoría de los casos con olor y apariencia anormal.

CARACTERÍSTICAS Y COMPARACIONES ENTRE ESTRUCTURAS A TRAVÉS DE TIEMPO

En el Cuadro 5, se presenta el flujo de maíz a través del tiempo para diferentes estructuras, observando que para el mes de agosto se han consumido la mayor cantidad (68%) del maíz almacenado; esto es de esperarse, ya que consumen aproximadamente 3.60 qq por mes, de los cuales el 65% se destina para alimentación humana y el 35% para consumo animal. La mayoría no vende maíz a excepción de algunos casos en donde almacenan cantidades superiores a la media. Esta situación obliga a pensar que para satisfacer la demanda de la familia del agricultor se necesitan que almacene por lo menos 43qq de maíz.

El porcentaje de daño y pérdida ocasional (Cuadro 6) se acentúa a partir del mes de julio; esta situación quizá obliga a los agricultores a que saquen la mayor cantidad de maíz a partir de dicho mes. La TT es la estructura que presenta los valores más altos llegando a 47.7% de daño y 38.6% de pérdida; siendo el silo

metálico el que presenta los valores más bajos 6.6 y 3.4% respectivamente.

Analizando las variables más importantes de este estudio, el porcentaje de daño y pérdida acumulada (ver Cuadro 7, Figura 5), se puede decir que la TT presentó los valores más altos 13.90 y 5.14% respectivamente, resultando el silo metálico como la estructura más adecuada para el almacenamiento del grano del maíz (0.81 de daño y 0.66 de pérdida). Algo importante que se observa en las TTMM, TTCP y CS es que presentan bajos valores de daño y pérdida, lo cual confirma que con sólo mejorar algún componente de la TT se disminuye significativamente el daño y la pérdida, resultando estas trojas mejoradas una buena alternativa para el almacenamiento.

En el Cuadro 8 se presentan algunos de los agentes que más causan daño en el grano almacenado (insectos y hongos) observando que la TT es la que resulta más afectada por insectos, llegando a tener daños de 22%. Una situación contraria se presenta en el silo, en donde el daño por insectos no llega ni al 1% (ver Figura 6). La TTMM, TTCP y CS, también presentan valores muy bajos de daño por insectos, lo cual indica que el tratamiento químico que se les hace a las paredes de las trojas y al maíz, es efectivo.

En donde no hay diferencias entre estructuras es en el porcentaje de daño por hongos (ver Cuadro 8 y Figura 7), esta situación nos indica que en el futuro se le tiene que dar mayor énfasis a esta variable, para así lograr un almacenamiento adecuado.

Otro agente que provoca daño son los roedores, quizá es uno de los problemas que más se le tiene que poner atención cuando se almacena en las TT, TTMM, TTCP y CS, ya que la evidencia de roedores en las trojas se da en casi el 100% de los casos en los meses de mayo y junio.

Los insectos que se identificaron y que más afectan al maíz son:

1. *Sitotroga Cerealella*
Sitophilus zeamais/Sitophilus oryzae
2. *Sitophilus gramarius*
3. *Ephestia elutella*
4. *Crytolestes ferrugineus*
5. *Tribolium castaneum*
6. *Tribolium confusum*
7. *Acarus siro*
8. Otros

El resultado de la caseta de secado resultó positiva en cuanto su propósito, secado de grano, ya que el maíz se almacenó a 24% de humedad y 50 días después ya se había bajado al 15%, sin sufrir daño el grano (ver Figura 8). Finalmente, de acuerdo a los datos obtenidos se hizo una regresión lineal simple

entre el porcentaje ocasional de grano dañado y la pérdida, logrando construir la tabla Q, la cual servirá de ayuda para estimar la pérdida ocasional a partir del porcentaje de grano dañado.

Tabla Q para estimar el porcentaje de pérdida ocasional a partir del porcentaje de grano dañado

%gd	%p	%gd	%p	%gd	%p	%gd	%p
1	0.1	26	10	51	22	76	34
2	0.1	27	11	52	22	77	35
3	0.1	28	11	53	23	78	35
4	0.1	29	12	54	24	79	36
5	0.1	30	12	55	24	80	36
6	1	31	13	56	25	81	37
7	1	32	13	57	25	82	37
8	2	33	14	58	26	83	38
9	2	34	14	59	26	84	38
10	3	35	15	60	27	85	39
11	3	36	15	61	27	86	39
12	4	37	16	62	28	87	40
13	4	38	16	63	28	88	40
14	5	39	17	64	29	89	41
15	5	40	17	65	29	90	41
16	6	41	18	66	30	91	42
17	6	42	18	67	30	92	42
18	7	43	19	68	31	93	43
19	7	44	19	69	31	94	43
20	8	45	20	70	32	95	44
21	8	46	20	71	32	96	44
22	8	47	21	72	33	97	45
23	9	48	21	73	33	98	45
24	9	49	21	74	33	99	46
25	10	50	22	75	34	100	46

Cuadro 3. Cantidad de maíz almacenado en quintales por estructura y cantidad de maíz mulco contabilizado antes del almacenamiento. Chimaltenango - Guatemala 1990-91.

Estructura	Maíz			Maíz Mulco
	Mínimo	Media	Máximo	
Troja tradicional	8.00	40.22	125.00	4.25
Troja tradicional con manejo mejorado	9.84	20.66	42.00	3.24
Troja tradicional con patas	5.28	30.28	89.43	5.94
Caseta de secado	7.30	23.09	33.35	4.28
Silo metálico	7.00	16.08	30.00	3.67

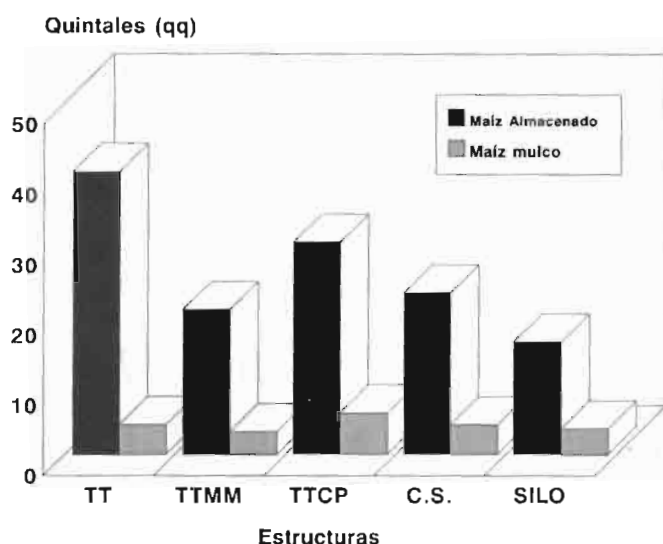


Figura 3. Cantidad promedio de maíz almacenado en quintales por estructura y cantidad de maíz mulco contabilizado antes del almacenamiento. Chimaltenango - Guatemala 1990-91.

Cuadro 4. Promedio de características del maíz almacenado (MA) y maíz mulco (MM). Chimaltenango - Guatemala 1990-91

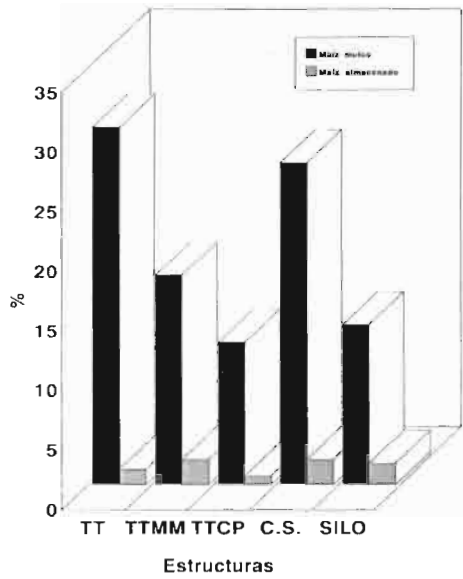
Características	TT		TTMM		TTCP		C.S.		SILO	
	MM	MA	MM	MA	MM	MA	MM	MA	MM	MA
Porcentaje de pérdida	30.0	1.3	17.6	2.1	11.9	0.7	27.0	2.1	13.4	1.8
No. granos sanos	567	949	681	940	749	969	588	939	789	930
No. granos dañados	433	51	319	60	251	31	412	61	211	70
No. granos recuperables	127	39	151	40	93	24	146	40	77	52
No. granos no recuperables	307	12	168	20	158	7	266	21	134	18
Peso 1,000 granos	321	419	301	367	337	390	288	325	297	379
Peso granos sanos*	212	400	211	348	264	380	188	311	235	357
Peso grano dañados*	110	19	90	19	72	10	100	14	62	22
Peso grano recuperable*	40	16	45	14	33	9	53	11	24	17
Peso grano no recuperable*	70	4	45	5	40	1	47	4	38	5
Temperatura muestra (oF)	71	71	70	70	68	68	68	66	74	71
Humedad muestra (%)	14	17	14	19	16	18	22	24	12	13
Peso hectolitro muestra	68	77	70	77	71	77	67	75	70	76

* El peso esta al 15% de humedad expresado en gramos.

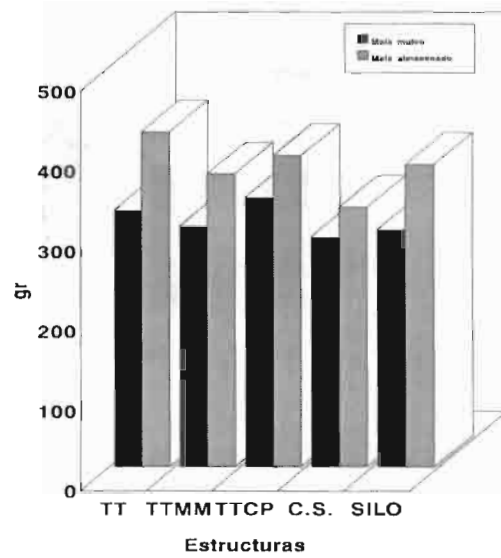
Cuadro 5. Consumo de maíz en quintales y porcentaje por época de muestreo. Chimaltenango 1990-91

EPOCA	TT		TTMM		TTCP		C.S.		SILO	
	qq	%	qq	%	qq	%	qq	%	qq	%
Diciembre	-	-	-	-	-	-	23.05	100	-	-
Enero	40.22	100	20.66	100	32.84	100	0.00	0	-	-
Febrero	0.00	0	0.00	0	0.00	0	1.03	4	16.08	100
Marzo	3.86	10	0.68	3	0.25	1	2.04	9	0.08	0
Abril	4.36	11	2.31	11	1.53	5	2.82	12	0.43	3
Mayo	4.30	11	2.14	10	3.67	11	4.67	20	1.80	11
Junio	5.78	14	3.26	16	5.00	15	3.45	15	2.28	14
Julio	5.60	14	3.73	18	2.86	9	0.91	4	2.29	14
Agosto	6.32	16	3.68	18	5.08	15	0.00	0	4.16	26
Septiembre	3.54	9	0.00	0	0.00	0	6.54	28	0.00	0
Octubre	2.81	7	3.47	17	11.88	36	0.89	4	3.73	23
Noviembre	1.82	5	0.73	4	2.13	6	0.41	2	0.92	6
Diciembre	1.45	4	0.46	2	0.44	1	0.30	1	0.40	2

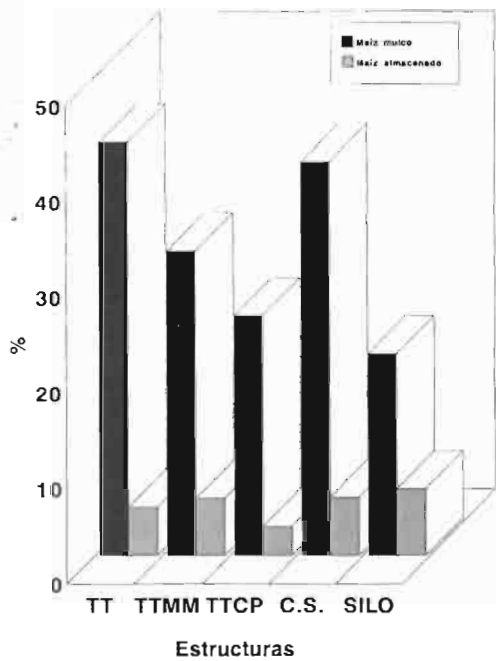
Porcentaje de pérdida



Peso de 1000 granos



Porcentaje de grano dañado



Porcentaje de humedad

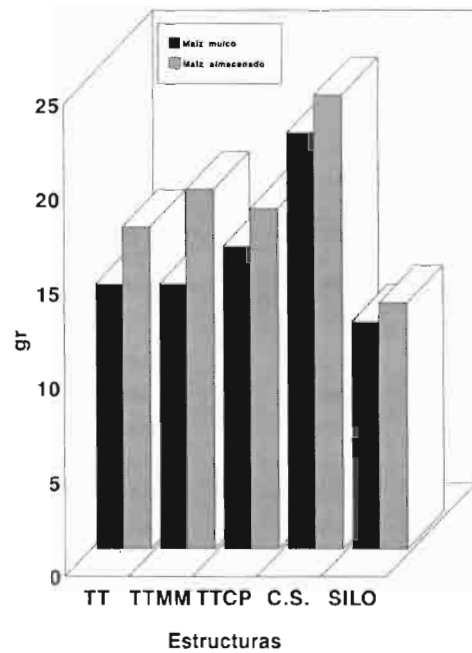


Figura 4. Algunas características del maíz almacenado y el maíz muelco. Chimaltenango 1990-91.

Cuadro 6. Porcentaje de daño y pérdida ocasional de las muestras tomadas en las diferentes estructuras. Chimaltenango 1990-91

EPOCA	TT		TTMM		TTCP		CS		SILO	
	%d	%p	%d	%p	%d	%p	%d	%p	%d	%p
Inicial	5.1	1.3	6.0	2.1	4.5	0.7	6.1	2.1	5.3	1.8
Diciembre	-	-	-	-	-	-	6.1*	2.1	-	-
Enero	5.1*	1.3	6.0*	2.1	4.5*	0.7	6.1	2.2	-	-
Febrero	6.1	1.3	7.0	2.2	5.1	1.1	6.1	2.3	5.3*	1.8
Marzo	6.7	1.4	7.6	2.2	5.6	1.4	6.4	2.8	5.5	1.8
Abril	7.5	1.4	8.6	2.7	6.2	1.7	7.6	3.1	5.6	1.8
Mayo	9.0	1.9	9.3	3.0	6.6	2.1	7.7	3.5	5.7	2.0
Junio	10.5	3.0	10.1	3.4	8.2	2.5	7.8	4.0	5.9	2.0
Julio	19.9	4.6	10.8	3.7	9.1	2.8	18.6	4.2	6.0	2.1
Agosto	26.7	7.6	10.9	3.9	10.8	3.5	21.4	4.9	6.2	2.6
Septiembre	36.3	11.0	10.9	4.0	12.2	4.1	24.7	5.8	6.3	3.0
Octubre	39.5	13.0	11.0	4.1	13.7	4.7	25.2	6.7	6.4	3.4
Noviembre	45.7	26.0	12.4	4.9	18.3	4.7	27.2	6.7	6.6	3.4
Diciembre	47.7	38.6	13.0	6.3	18.3	4.7	27.2	6.7	6.6	3.4

* mes de llenado

Cuadro 7. Porcentaje de daño y pérdida acumulada en el grano de maíz, bajo diferentes estructuras de almacenamiento. Chimaltenango 1990-91

EPOCA	TT		TTMM		TTCP		C.S.		SILO	
	%D	%P	%D	%P	%D	%P	%D	%P	%D	%P
Diciembre	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	-	-
Enero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
Febrero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Marzo	0.13	0.00	0.04	0.00	0.01	0.01	0.02	0.06	0.00	0.00
Abril	0.35	0.01	0.27	0.03	0.08	0.06	0.13	0.17	0.01	0.00
Mayo	0.70	0.23	0.57	0.10	0.29	0.19	0.45	0.41	0.05	0.01
Junio	1.36	0.40	1.16	0.20	0.73	0.43	0.71	0.67	0.12	0.04
Julio	2.77	0.75	1.97	0.46	1.11	0.61	0.99	0.75	0.28	0.08
Agosto	5.68	1.52	2.85	0.77	1.94	0.99	0.99	0.75	0.49	0.24
Septiembre	8.06	2.24	2.85	0.77	1.94	0.99	5.72	1.67	0.49	0.24
Octubre	10.36	2.99	3.70	1.09	5.00	2.32	6.47	1.84	0.74	0.56
Noviembre	12.24	3.90	3.93	1.19	5.69	2.56	6.87	1.93	0.81	0.66
Diciembre	13.90	5.14	4.06	1.26	5.69	2.56	6.87	1.93	0.81	0.66

%D = porcentaje acumulativo de daño

%P = porcentaje acumulativo de pérdida.

Cuadro 8. Porcentaje de daño por insectos (%I) y hongos (%H) en las diferentes estructuras a través del tiempo de almacenamiento. Chimaltenango 1990-91.

EPOCA	TT		TTMM		TTCP		C.S.		SILO	
	%I	%H	%I	%H	%I	%H	%I	%H	%I	%H
Diciembre	-	-	-	-	-	-	2.40*	3.20	-	-
Enero	0.20*	4.20	0.50*	4.50	0.50*	2.10	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-	-	0.10	2.10	0.10*	5.40
Marzo	0.20	5.10	0.14	6.43	0.00	8.50	0.50	3.10	0.00	4.80
Abril	0.08	6.37	0.40	7.80	0.00	3.70	0.00	5.40	0.00	0.40
Mayo	0.76	3.36	0.10	4.80	0.10	5.40	0.00	5.10	0.30	3.60
Junio	5.41	4.10	0.30	4.10	2.10	5.20	3.90	0.20	0.00	4.10
Julio	14.08	4.57	1.90	7.10	0.20	6.90	9.70	6.70	0.10	3.50
Agosto	10.97	5.99	0.10	3.40	0.60	4.70	-	-	0.10	2.20
Septiembre	19.28	8.26	-	-	-	-	0.60	10.50	-	-
Octubre	10.60	10.93	0.00	9.40	2.00	9.40	0.14	6.00	0.10	6.60
Noviembre	3.66	22.74	1.70	3.70	15.40	1.90	0.00	1.80	0.00	1.60
Diciembre	21.71	4.53	0.30	5.40	-	-	-	-	-	-

* mes de llenado

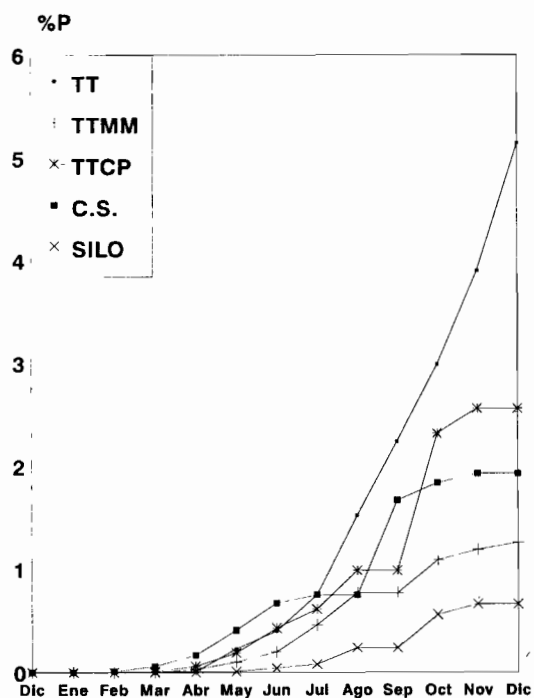


Figura 5. Porcentaje de pérdida acumulada en el grano de maíz, en diferentes estructuras de almacenamiento. Chimaltenango 1990-91.

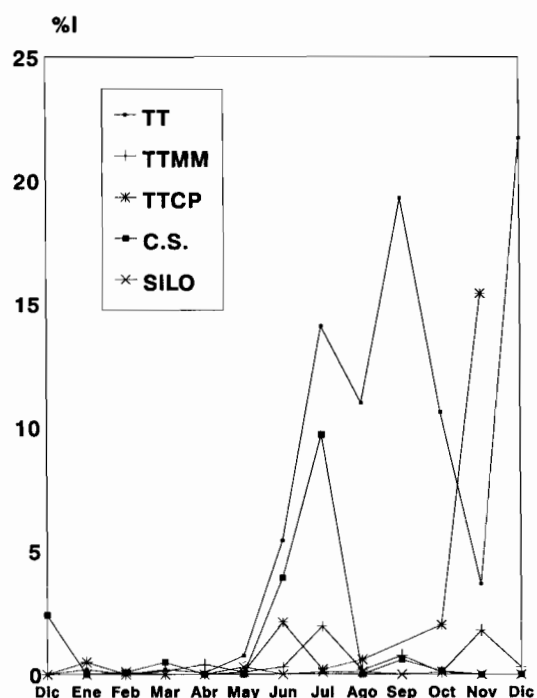


Figura 6. Porcentaje de daño por insectos en diferentes estructuras de almacenamiento. Chimaltenango 1990-91

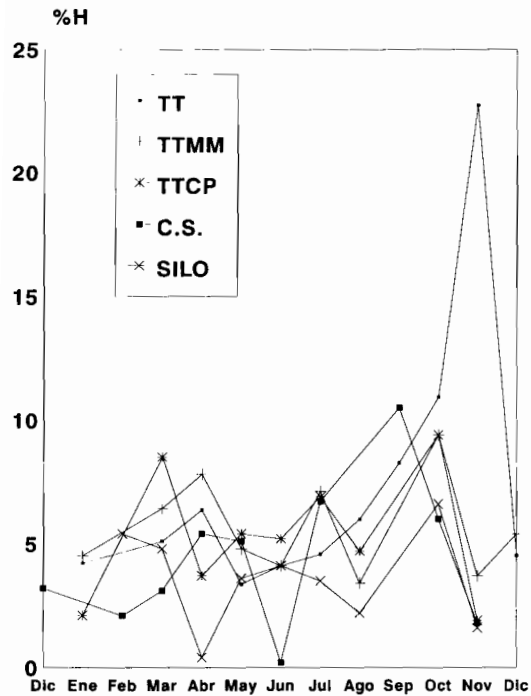


Figura 7. Porcentaje de daño por hongos en diferentes estructuras de almacenamiento. Chimaltenango 1990-91.

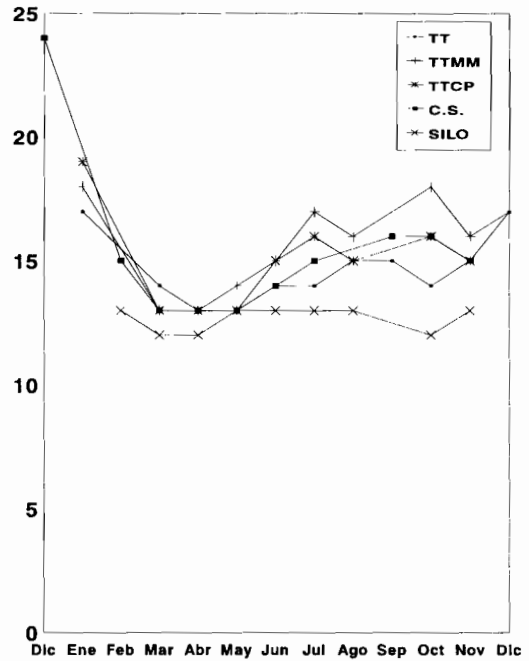


Figura 8. Porcentaje de humedad de grano en diferentes estructuras de almacenamiento. Chimaltenango 1990-91

CONCLUSIONES

1. Se rechaza la primera hipótesis planteada, por tanto si existen diferencias entre la TT y las estructuras mejoradas.
2. No se rechaza la segunda hipótesis ya que el grano se almacenó en la caseta de secado a 24% de humedad y luego en 50 días bajó al 15% sin dañar el grano.
3. La TT fue la estructura que presentó los valores más altos de porcentaje de daño y pérdida acumulada, 13.90 y 5.14 respectivamente.
4. El silo metálico fue la mejor estructura con porcentajes de daño y pérdida acumulada menores del 1%.

5. La TTMM, TTCP y CS son también buenas alternativas de almacenamiento ya que presentaron valores bajos de porcentaje de daño y pérdida.
6. Se identificaron que los factores que más ocasionan grano dañado son los roedores, insectos y hongos.
7. Entre los insectos que más afectan están Sitotroga cerealella, Sitophilus zea mais y Sitophilus oryzae.
8. Se cuenta con suficiente información que garantiza recomendaciones de las estructuras mejoradas en forma masiva.

Evaluación de Distintas Épocas de Siembra y la Incidencia del Achaparramiento en Maíz, Azuero, Panamá, 1993-94

Román Gordón¹, Nivaldo de Gracia², Jorge Franco³ y Andrés González³

RESUMEN

Se realizó un experimento en dos localidades de la Región de Azuero (Las Tablas y Guararé) a partir de la primera coa (junio de 1993), con el objetivo de observar el ataque de la enfermedad conocida como achaparramiento del maíz. El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas en un arreglo de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las parcelas principales consistieron de las distintas épocas de siembra. Estas parcelas se sembraron cada 15 días, iniciándose el 15 de junio (Guararé) y el 1 de julio (Las Tablas) para un total de 7 y 6 épocas de siembras, respectivamente. En las subparcelas se evaluaron tres cultivares P-8812, X-304 C, y NB-12. En ambas localidades se observó un efecto muy marcado de la enfermedad según las épocas de siembra. Las siembras realizadas antes del 15 de agosto fueron las que mostraron mayor porcentaje de plantas afectadas por el patógeno (con síntoma) y mayor porcentaje de mazorcas afectadas. El mayor porcentaje de plantas achaparradas en Las Tablas y Guararé se dio en la siembra del 1 y 15 de julio con 64.6 y 21.8%, respectivamente. Luego éste fue disminuyendo hasta alcanzar un valor de 5.5 y 1.5% en las siembras del 15 de septiembre. Todos los cultivares evaluados presentaron síntomas de la enfermedad. En Las Tablas en donde la incidencia de la enfermedad fue más alta, presentaron un porcentaje de daño promedio de todas las épocas de siembra de 30.03% (P-8812), 23.40% (X-304 C) y 11.81% (NB-12). De acuerdo al conteo de la población del *Dalbulus maydis* se encontró que ésta es altamente virulenta, ya que a pesar de las bajas poblaciones encontradas, se observa un alto porcentaje de plantas afectadas con los síntomas del achaparramiento.

En 1992 se observó en varias parcelas de maíz de la Región de Azuero, una alta incidencia de la enfermedad conocida como achaparramiento. Gordón et al (1993), encontraron que esta enfermedad se presentó en todas las áreas de cultivo de la región, pero con diferente intensidad. Estos mismos investigadores encontraron que la época de siembra fue el factor que más influyó para favorecer la incidencia de la enfermedad; y que la

interacción encontrada en los cultivares se debió que uno de los materiales más sembrados no se dio en la época de mayor incidencia de la enfermedad (siembras antes del 15 de agosto).

La enfermedad conocida como achaparramiento fue reportada por primera vez como una enfermedad nueva del maíz en Río Grande, Valle de Texas en 1956. El complejo del achaparramiento está compuesto de tres agentes causales a) *Spiroplasma kunkelii* o raza Río Grande (Corn stunt spiroplasm CSS), que causa la proliferación de mazorcas y bandas cloróticas comenzando de la base de las hojas; b) micoplasmas (Maize bunshy stunt micoplasm, MBSM), que producen el típico síntoma de enrojecimiento de las hojas; y c) el virus del rayado fino, que causa las típicas bandas cloróticas en las hojas (Nault and Bradfute, 1979). Este complejo del achaparramiento es transmitido por chicharritas de la especie *Dalbulus maydis* (Homoptera: Cicadellidae).

El principal hospedero de este insecto es el maíz, pero puede sobrevivir en plantas de teosinte (*zea spp*), *Tripsacum* e incluso sorgo (Nault and Bradfute, 1979; Sveinhaus and Jorgensen, 1988). El ciclo de vida de este insecto desde huevo hasta adulto es de 23 días. Los adultos de esta especie son muy sedentarios. Los movimientos y dispersión de los adultos se debe a cambios en la temperatura o disturbios mecánicos. Las hembras son más móviles que los machos y requieren más nutrientes para la producción de los huevos (Nault and Bradfute, 1979). Climas cálidos, baja humedad relativa y escasa precipitación son favorables para el desarrollo de altas poblaciones del vector. En Nicaragua Sveinhaus and Jorgensen, (1988) encontraron que las poblaciones de *Dalbulus maydis* se incrementaron a partir de septiembre, mientras que las más bajas se dieron en los meses de julio a agosto.

El objetivo de este trabajo fue el de determinar las épocas de siembras que son afectadas por el ataque de esta enfermedad. Otro objetivo fue el de determinar la susceptibilidad de dos cultivares sembrados comercialmente en el país y compararlos con un material que presenta buena tolerancia

¹ Ing. Agrónomo M.Sc., ² Ing. Agrónomo, ³ Agrónomo, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro Regional Agropecuario de Azuero, Los Santos, Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un experimento en dos localidades de la Región de Azuero (Las Tablas y Guararé) a partir de la primera coa o época de siembra (junio de 1993). El diseño experimental fue de parcelas divididas en un arreglo de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las unidades experimentales fueron parcelas de cuatro surcos de 5.5 m de largo. La distancia de siembra fue de 0.75 m entre hileras y de 0.50m entre golpes, dejando dos plantas por golpe, para alcanzar una densidad teórica de 5.33 pl/m².

Las parcelas principales consistieron de las distintas épocas de siembra. Estas parcelas se sembraron cada 15 días, hasta llegar a la última siembra, la cual se realizó el 15 de septiembre. Las mismas se iniciaron el 15 de junio (Guararé) y el 1 de julio (Las Tablas) para totalizar 7 y 6 épocas de siembras, respectivamente. En las subparcelas se evaluaron tres cultivares a saber: P-8812, X-304 C y NB-12. El primero es un híbrido del Programa Nacional y el segundo es un híbrido importado, ambos cultivares son sembrados de manera comercial en el país. El tercero es una variedad de grano blanco, proveniente del Nicaragua, la cual es tolerante al achaparramiento y es sembrada comercialmente en ese país.

Las semillas de los tres cultivares fueron tratadas con el insecticida furatiocarb a razón de 8 g i.a./ha. El abonamiento de todas las épocas consistió de 227 kg de 15-30-8/ha al momento de la siembra más 227 kg de urea a los 30 días después de la siembra (dds). El control de malezas se realizó con la aplicación de la mezcla de atrazina más pendimetalina a razón de 3.0 + 3.0 l/ha en Las Tablas y con glifosato a razón de 4.0 l/ha en Guararé.

Se tomaron datos de rendimiento de grano, número de plantas y mazorcas cosechadas, número de plantas y mazorcas que presentaban el síntoma de la enfermedad y el número de *D. maydis* por planta. La precipitación pluvial durante el período que duró el ensayo se tomó en la localidad de Guararé (Cuadro 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La intensidad con que se presentó la enfermedad en este experimento no fue uniforme en las dos localidades evaluadas. La intensidad de la enfermedad fue mayor en Las Tablas (21.75% de plantas con síntoma), mientras que en Guararé a pesar que la enfermedad se presentó en una intensidad baja (6.1% de plantas con síntomas), los

resultados son similares como los observados en Las Tablas.

Cuadro 1. Precipitación y número de días con lluvia en Guararé de mayo a diciembre de 1993.

Mes	1 a 10		11 a 20		21 a 31	
	mm	días	mm	días	mm	días
May	31.6	3	56.9	3	35.1	2
Jun	9.0	1	0.0	0	12.8	2
Jul	79.8	3	21.9	3	8.7	1
Ago	24.6	4	56.0	2	63.4	3
Sep	71.4	2	32.8	2	105.0	5
Oct	0.0	0	0.0	0	0.0	0
Nov	64.0	3	29.1	2	29.9	3
Dic	30.0	0	11.9	1	0.0	0

Al realizar un análisis de correlación entre todas las variables medidas y el rendimiento de grano, se encontró que las variables que representan el síntoma de la enfermedad (plantas y mazorcas afectadas), presentaron un coeficiente de correlación negativos con valores de 0.55 y 0.58 (significativos a $P < 0.001$), respectivamente, lo que demuestra que la enfermedad tiene un efecto directo sobre los rendimientos del cultivo. El peso de la mazorca fue el factor o componente del rendimiento más afectado. Al realizar el análisis de correlación con el peso de la mazorca, se encontró que estas variables tuvieron un coeficiente de correlación negativo de 0.43 y 0.44, para el porcentaje de plantas y mazorcas afectadas, respectivamente.

Efecto de épocas

En ambas localidades se observó un efecto muy marcado de la enfermedad según las épocas de siembra. Las siembras realizadas antes del 15 de agosto fueron las que mayor porcentaje de plantas afectadas por el patógeno (%plantas con el síntoma) y mayor porcentaje de mazorcas afectadas presentaron. Resultados similares obtuvieron Gordón et al (1993) en donde se observó en el muestreo realizado en toda la Región de Azuero, que la enfermedad atacó más fuerte o tuvo su mayor incidencia en las siembras anteriores al 15 de agosto.

El mayor porcentaje de plantas achaparradas en Las Tablas y Guararé se dio en la siembra del 1 y 15 de julio con 64.62 y 21.85%, respectivamente. Luego éste fue disminuyendo hasta alcanzar un valor de 5.50 y 1.48%

en las siembras del 15 de septiembre, para las Tablas y Guararé, respectivamente. Estos últimos porcentajes son considerados de una intensidad o incidencia normal en las siembras realizadas tradicionalmente en esta Región. En relación al porcentaje de mazorcas afectadas por la enfermedad, se encontró que, el mayor daño se dio en la siembra del 1 de agosto, para ambas localidades con 25.57 y 30.56% (Las Tablas y Guararé) y al igual que en el porcentaje de plantas afectadas, el mismo fue disminuyendo hasta alcanzar un nivel de 9.32 y 4.62% en las siembras del 15 de septiembre (Cuadro 2). El análisis estadístico para ambas variables demostró diferencias significativas (Cuadro 3).

La proliferación de jilotes por plantas (mazorcas en formación), el cual es el otro síntoma que esta relacionado con la enfermedad, mostró un incremento en las tres primeras épocas de siembra, en el caso de Las Tablas. Esta sintomatología alcanzó el máximo valor en la siembra del 1 de agosto con 1.32 jilotes/planta, luego de esta época la misma disminuyó hasta lograr un promedio de casi un jilote/planta. En Guararé la siembra del 15 de julio, fue la que alcanzó el máximo nivel de jilotes/planta y luego mostró la misma tendencia observada en Las Tablas.

En relación al rendimiento de grano, se observó que hubo diferencias altamente significativas entre las distintas épocas de siembra. En Las Tablas el menor rendimiento se obtuvo en la siembra del 1 de julio (1.96 t/ha), mientras que los mayores rendimientos se obtuvieron en el período del 15 de julio al 15 de agosto (3.86, 3.27 y 3.73 t/ha, respectivamente). Estos resultados parecen indicar que no hubo relación entre la incidencia de la enfermedad y el rendimiento obtenido, pero hay que señalar que las dos últimas siembras (1 y 15 de septiembre) fueron muy afectadas por la escasa precipitación del mes de septiembre el cual mermó la producción de granos. Otro factor que parece indicar el mejor rendimiento obtenido en estas tres épocas es el número de mazorcas cosechadas/m² ($r = 0.49$) los cuales alcanzaron los más valores más altos en estas épocas, en comparación con las otras. En Guararé los rendimientos más bajos se obtuvieron en las siembras realizadas antes del 1 de agosto (inclusive). Al igual que en Las Tablas el número de mazorcas cosechadas/m² puede ser un factor que influyó en el bajo rendimiento obtenido ($r = 0.63$).

Efecto de cultivares

Los resultados obtenidos en relación al porcentaje de plantas afectadas indican que hubo una diferencia

altamente significativa entre ellos. Todos los cultivares evaluados presentaron síntomas de la enfermedad. El resultado de este experimento indica que los cultivares que se siembran en el país a nivel nacional son susceptibles, ya que, en Las Tablas, donde la incidencia de la enfermedad fue más alta, presentaron un porcentaje de daño promedio de todas la épocas de siembra de 30.03% (P-8812) y 23.40% (X-304 C), mientras que la variedad nicaragüense NB-12 presentó un porcentaje de daño mucho menor (11.81), lo que podría catalogarla como tolerante a la enfermedad (Cuadro 4). En Guararé se observó la misma tendencia para esta variable con promedios de plantas afectadas para el P-8812, X-304 C y el NB-12 de 7.55, 7.19 y 3.53%, respectivamente. En Las Tablas el comportamiento se mantuvo igual en todas las épocas de siembra, es decir, el P-8812 siempre mostró porcentajes de plantas afectadas mayores que el X-304 C, y éste a su vez, superó en relación al daño a la variedad NB-12. En Guararé la tendencia fue similar, aunque en la siembra del 1 de julio el P-8812 presentó el promedio más bajo de plantas afectadas que el NB-12 y X-304 C (15.00% vs 18.20 y 19.41%, respectivamente).

En relación al porcentaje de mazorcas afectadas se observó diferencias altamente significativas entre los cultivares. El material menos afectado en ambas localidades fue el NB-12 con 3.90 y 6.96% de daño (promedio de todas las épocas). En general esta variedad mostró un porcentaje bajo de mazorcas enfermas, sólo en la época de siembra del 1 de agosto, el porcentaje de daño fue relativamente alto (31.63%), en el resto de las épocas su daño fue menor del 10%, lo que demuestra su tolerancia a la enfermedad.

El híbrido nacional P-8812 fue el que más daño presentó con 26.50 y 12.69% de mazorcas afectadas en Las Tablas y Guararé, respectivamente. El X-304 C, obtuvo un valor promedio entre estos dos cultivares en las dos localidades (15.78 y 8.86%), Este híbrido (X-304 C) alcanzó hasta un 30.8% de mazorcas afectadas y 65.5% de plantas con el síntoma en las épocas en donde la enfermedad se presentó con intensidad alta, lo que indica que el éste no es resistente (Cuadro 5).

En relación al rendimiento de grano, en Las Tablas se observó que el NB-12 superó a los dos híbridos evaluados en las siembras del 15 de julio al 15 de agosto. En las siembras del mes de septiembre y del 1 de julio los híbridos superaron a esta variedad. Exceptuando la siembra del 1 de julio, en donde a pesar de que la enfermedad se presentó con alta incidencia se observó que en las épocas en donde se presentó con alta incidencia la enfermedad la variedad por su tolerancia permitió rendimientos superiores (Cuadro 6).

Cuadro 2. Rendimiento de grano, algunos de sus componentes y principales síntomas del achaparramiento, según épocas de siembra en Las Tablas y Guararé, Azuero Panamá, 1993-94.

Componente	Épocas							Prom
	15 Jun	1 Jul	15 Jul	1Ago	15 Ago	1 Sep	15 Sep	
Las Tablas								
Rend		1.96	3.86	3.27	3.73	2.79	2.56	3.03
Pmz		55.11	69.44	65.47	76.03	64.51	56.84	64.57
Ptm ²		4.85	5.33	5.28	5.26	4.99	5.12	5.14
Jil/pta		1.21	1.27	1.32	0.99	1.06	1.05	1.15
Mz/pta		0.89	1.08	0.94	0.93	0.86	0.87	0.93
MzAch		18.08	18.50	25.57	8.34	12.53	9.32	15.39
Pta Ach		64.62	26.57	13.54	11.02	9.24	5.50	21.75
Guararé								
Rend	3.88	3.49	4.18	2.68	5.32	4.14	3.27	3.85
Pmz	90.62	78.93	83.83	68.15	109.79	89.71	83.16	86.31
Ptm ²	4.43	4.75	5.20	5.17	5.33	4.99	4.28	4.88
Jil/pta	1.16	1.11	1.27	1.06	1.09	1.09	1.11	1.13
Mz/pta	0.99	0.93	0.96	0.76	0.91	0.92	0.91	0.91
MzAch	7.92	6.54	10.23	30.56	2.25	4.41	4.62	9.51
Pta Ach	18.02	17.54	21.85	10.34	6.82	3.61	1.48	11.38

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis estadístico de las principales variables medidas en el ensayo de épocas de siembra en Las Tablas y Guararé, Azuero, Panamá, 1993-94.

F de V	g.l.	Cuadrados Medios						
		Rend	Pmz	Ptm ²	Jil/pta	Maz/pta	Mz Ach	Pta Ach
Las Tablas								
Epoca	5	4.786	549.3	0.318	0.163	0.061	803.4	1882.8
Rep(Epc)	12	0.959	334.1	0.135	0.013	0.033	292.4	118.8
Cultivar	2	1.509	1758.5	0.596	0.081	0.187	1187.9	509.3
Epc x Cult	10	0.756	375.6	0.244	0.081	0.086	361.5	150.5
Error	53	0.265	97.3	0.423	0.007	0.014	208.3	89.5
Guararé								
Epoca	6	6.318	1472.1	1.462	0.047	0.046	836.6	2858.2
Rep(Epc)	14	1.144	377.1	0.037	0.007	0.12	60.4	126.6
Cultivar	2	2.512	229.4	1.887	0.035	0.007	178.5	5550.2
Epc x Cult	12	0.433	270.3	0.673	0.021	0.008	75.8	273.9
Error	62	0.297	91.3	0.186	0.007	0.004	26.4	40.9

Cuadro 4. Porcentaje de plantas afectadas por la enfermedad del achaparramiento del maíz, según cultivar y épocas de siembra en Las Tablas y Guararé, Azuero, Panamá, 1993-94.

Cultivar	Épocas de Siembra							Prom
	15 Jun	1 Jul	15 Jul	1 Ago	15 Ago	1 Sep	15 Sep	
Las Tablas								
P-8812		79.26	41.00	19.46	17.25	14.56	8.66	30.03
X-304 C		65.53	27.16	16.67	13.50	11.00	6.55	23.40
NB-12		49.06	11.56	4.50	2.31	2.15	1.30	11.81
Promedio		64.62	26.57	13.54	11.02	9.24	5.50	21.75
Guararé								
P-8812	25.30	15.00	29.93	8.90	8.70	5.30	2.30	13.63
X-304 C	20.50	19.41	22.46	14.43	9.23	4.23	2.15	13.20
NB-12	8.25	18.20	13.16	7.70	2.53	1.30	0.00	7.63
Promedio	18.02	17.54	21.85	10.34	6.82	3.61	1.48	11.48

Cuadro 5. Porcentaje de mazorcas afectadas por la enfermedad del achaparramiento del maíz, según cultivar y épocas de siembra en Las Tablas y Guararé, Azuero, Panamá, 1993-94.

Cultivar	Épocas de Siembra							Prom
	15 Jun	1 Jul	15 Jul	1 Ago	15 Ago	1 Sep	15 Sep	
Las Tablas								
P-8812		34.43	33.53	41.26	13.63	21.63	14.50	26.50
X-304 C		19.80	16.20	30.80	8.30	11.43	8.13	15.78
NB-12		0.00	5.76	4.66	3.10	4.53	5.33	3.90
Promedio		18.08	18.50	25.57	8.34	12.53	9.32	15.39
Guararé								
P-8812	13.23	2.53	20.46	33.86	3.30	11.53	3.90	12.69
X-304 C	9.20	6.13	9.43	26.20	3.46	1.70	5.93	8.86
NB-12	1.33	10.96	0.80	31.63	0.00	0.00	4.03	6.96
Promedio	7.92	6.54	10.23	30.56	2.25	4.41	4.62	9.51

Cuadro 6. Rendimiento de grano (t/ha) en el ensayo de épocas de siembra del cultivo de maíz en dos localidades de Azuero, Panamá, 1993-94.

Cultivar	Épocas de Siembra							Prom
	15 Jun	1 Jul	15 Jul	1 Ago	15 Ago	1 Sep	15 Sep	
Las Tablas								
P-8812		1.86	3.36	2.64	3.27	2.61	2.72	2.74
X-304 C		2.67	3.71	3.38	3.87	3.32	2.97	3.32
NB-12		1.35	4.50	3.79	4.05	2.45	2.00	3.02
Promedio		1.96	3.86	3.27	3.73	2.79	2.57	3.03
Guararé								
P-8812	3.95	3.57	3.63	2.81	5.51	3.81	3.18	3.78
X-304 C	4.40	3.55	5.02	2.80	5.14	4.61	4.07	4.23
NB-12	3.29	3.34	3.90	2.42	5.32	4.00	2.57	3.55
Promedio	3.90	3.49	4.18	2.68	5.33	4.14	3.27	3.85

Debemos señalar que este bajo rendimiento de la variedad se debió principalmente por la baja germinación de las semillas, dando por resultado una baja población de plantas al final de la cosecha (4.16 plantas/m²), en comparación con los híbridos (5.29 y 5.09 plantas/m²). Esta situación se mejoró en las siguientes épocas, a través de la siembra de más semillas por golpe en el caso del NB-12.

Población del insecto

El conteo de las poblaciones del insecto transmisor de la enfermedad, se realizó en todas las épocas a partir de los 15 dds, con una frecuencia de un muestreo semanal. El resultado de este conteo indicó que las poblaciones encontradas del vector no superaron el promedio de un *Dalbulus maydis* por planta. Este promedio indica que la población existente en la región es altamente virulenta y bastan unos cuantos insectos para que la enfermedad se convierta en una limitante para la producción de este cultivo.

A pesar de que las siembras se realizaron escalonadamente, se esperaba que la población del insecto fuera en aumento hasta alcanzar la máxima población en las siembras del 15 de septiembre, situación que no se dio. A partir de las siembras del 1 de septiembre no se logró detectar especímenes de esta especie. Lo que indica, que existe algún factor que está regulando las poblaciones del vector de manera efectiva y natural.

CONCLUSIONES

1. Existe una relación bien marcada entre la época de siembra y la incidencia de la enfermedad. Siembras antes del 15 de agosto están propensas a ser afectadas fuertemente por el achaparramiento.
2. Tanto el híbrido nacional P-8812, como el importado X-304 C, son susceptibles a la enfermedad.
3. La población del *Dalbulus maydis* que existe en la Región es altamente virulenta, ya que a pesar de las bajas poblaciones encontradas, se observa un alto porcentaje de plantas afectadas con el síntoma del achaparramiento.
4. La variedad NB-12 resultó tolerante al ataque del achaparramiento.

REFERENCIAS

- Gordón, R., I.Camargo, N.De Gracia, A.González, D.Pérez, A.Alvarado y J.Franco, 1993. Situación del Achaparramiento en el cultivo de maíz en Azuero, Panamá, 1992-93 En: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM, 1992. Vol.4, p 239-246.
- Nault, L.R. and O.E.Bradfute. 1979. Corn stunt:involvement of a complex of leafhopper borne pathogens. In: K.Maramorosch an K.F.Harris (eds), Leafhopper vectors and plant disease agents. Academic Press, New York. p 561-586.
- Sveinhaug, T and M.Jorgensen. 1988. Corn stunt and maize bushy stunt disease: population levels of the vector *Dalbulus maydis* and incidence of the disease in six maize varieties at four locations in Nicaragua. PhD Tesis. Norwegian Agricultural University, 90 pp.

Dinámica y Variabilidad de los Componentes del Rendimiento en 21 Campos de Maíz en Luperón, República Dominicana

Rodolfo Pierre¹, Pablo Rodríguez² y Jorge Bolaños³

RESUMEN

Este estudio pretende contribuir al entendimiento de la elaboración del rendimiento y sus componentes en sistemas de producción de maíz de la Luperón, República Dominicana. Se efectuó un monitoreo dinámico en 21 campos de agricultores durante 1993 y 1994, lo que permitió el levantamiento de las informaciones aquí presentadas. El objetivo es identificar problemas claves que limitan la elaboración del rendimiento en maíz. Para la toma de datos se establecieron 5 estaciones fijas de 5 m lineales en un área pre-seleccionada de 100 m² y 5 estaciones adicionales de 3 m elegidas al azar dentro del predio del agricultor. La densidad promedio de siembra fue 6.55 pl m⁻², perdiéndose el 26% de estas durante el desarrollo del cultivo, para una densidad final a la cosecha de 4.73 pl m⁻². En promedio, el 14% de las plantas no produjeron mazorca para una cosecha final de 4.0 m². En los primeros 25-35 días del cultivo se perdieron el 24% de las plantas, debido a una combinación de fuerte ataque del gusano cogollero así como la fuerte presión de las malezas. Los datos son consistentes con datos regionales del PRM, confirmando que el bajo número de plantas y mazorcas a la cosecha explica los bajos rendimientos de maíz en campos de agricultores.

Desde el punto de vista agronómico, el rendimiento por unidad de superficie del maíz depende del número de mazorcas cosechadas por unidad de área y su peso promedio (Bolaños y Barreto, 1991). La baja densidad de población al momento de la cosecha es una de las razones más importantes de los bajos rendimientos en campos de agricultores de la región (Rodríguez y Miranda, 1990; Bolaños y Barreto, 1991; Beauval, 1992a). Diferentes estudios (Turrent, 1983; Beauval, 1992) han sugerido que rendimientos de maíz menores a 2-2.5 ton ha⁻¹ están asociados a un bajo número de plantas por hectárea así como una alta proporción de plantas infértiles. Un bajo número de plantas ha⁻¹ se puede deber a una baja densidad de siembra o la pérdida de plantas por estreses, en especial por problemas de plagas. Un bajo número de mazorcas por planta (o número de granos por mazorca) se puede

deber a estreses durante la floración, y estreses durante el llenado de grano afectan el peso final de grano. Es importante entender como a lo largo del ciclo del cultivo se forman sincrónicamente y sucesivamente los componentes de rendimiento (Bolaños y Barreto, 1991; Bolaños y Edmeades, 1993).

Los objetivos del presente estudio son entender los procesos de formación del rendimiento y las causas de la variabilidad en sus componentes a través del ciclo del maíz y sus limitantes en campos de agricultores típicos de Luperón.

MATERIALES Y METODOS

Descripción de las 21 Parcelas y Localidades Muestreadas

Estas actividades y/o ensayos no involucraron el establecimiento de ensayos con tratamientos experimentales específicos o diseños estadísticos como en la experimentación tradicional. En estos, se efectuó un diagnóstico agronómico dinámico en 21 campos de agricultores y/o parcelas de validación de maíz representando diversos ambientes, condiciones socioeconómicas, prácticas culturales, variedades, etc, para monitorear los procesos de elaboración del rendimiento en la zona de Luperón, República Dominicana (Cuadro 1).

Dentro de cada parcela seleccionada, se escogió un área relativamente homogénea de 10 x 10 m donde se efectuó el diagnóstico dinámico visitándose la parcela 6 veces en total: siembra (visita 1), establecimiento (visita 2), fase vegetativa (visita 3), floración (visita 4), llenado de grano (visita 5) y cosecha final (visita 6). Dentro de esta área de 10 x 10 m, se marcaron 5 estaciones de 1 surco de 5 m lineales donde se efectuó un monitoreo continuo y repetitivo del cultivo. En cada visita también se escogieron al azar 5 estaciones adicionales de 1 surco de 3 m lineales, pero afuera del área marcada de 10 x 10 m pero aún dentro de la parcela del agricultor.

¹Investigador, DIA-CESDA, ²Extensionista Agrícola, SEA, Luperón., ³Agrónomo Regional, CIMMYT-Guatemala.

Cuadro 1. Descripción de los 21 campos de agricultores o parcelas de validación de maíz muestreados.

No	Agricultor	Localidad	Parc (Ta) ¹	Labrz	Siemb	Variedad	Dist.Surc. m	No. golpes m lineal	No. Pl Golpe
1	Orlando Cueto	La Sabana	50	M	Man	Frances Largo	0.90	0.21	3.0
2	Mauricia Devora	La Sabana	50	M	Man	Mejorado	0.91	0.63	2.3
3	Juan Valdez	La Sabana	50	M	Man	Frances Largo	1.05	0.78	4.0
4	Otilio García	La Sabana	50	M	Man	Frances Largo	1.24	0.58	3.0
5	Francisco Disla	Omar Bross	50	M	Man	Frances Largo	1.05	0.74	4.0
6	Lulito	Omar Bross	50	M	Man	Frances Largo	1.02	0.68	3.0
7	Modesto Disla	Omar Bross	50	M	Man	Frances Largo	0.96	0.67	3.5
8	Erasmo Nuñez	El Fundo	55	M	Man	Frances Largo	1.00	0.55	3.0
9	Eddy Corniell	El Fundo	55	M	Man	Frances Largo	0.88	0.45	3.5
10	Frank Gómez 1	Las Canas	400	M	Man	Mejorado	1.33	--	4.0
11	Frank Gómez 2	Las Canas	400	M	Man	Mejorado	1.19	--	3.5
12	Frank Gómez 3	Las Canas	400	M	Man	Mejorado	1.37	--	3.5
13	Herasmo Almonte	La Sabana	50	M	Man	Frances Largo	0.96	0.83	4.5
14	Herasmo Nuñez	El Fundo	50	M	Man	Frances Largo	0.95	0.63	3.0
15	Isidro Ventura	La Sabana	50	M	Man	Frances Largo	1.07	0.83	4.0
16	Eusebio Salvador	La Sabana	50	M	Man	Frances Largo	0.86	0.69	4.0
17	Luz María Cruz	Las Paredes	35	M	Man	Frances Largo	0.92	0.59	4.0
18	Hipólita Rodríguez	Las Paredes	35	M	Man	Frances Largo	0.92	0.69	4.0
19	Luis Morrobel	Omar Bross	50	M	Man	Frances Largo	1.07	0.44	3.3
20	Sucre Echavarría 1	La Sabana	200	M	Mec	Frances Largo	0.92	0.50	4.0
21	Sucre Echavarría 2	La Sabana	200	M	Mec	Frances Largo	0.92	0.50	4.0
	Media						1.02	0.53	2.6

¹ Tarea dominicana = 629 m²

² En Labranza, M es mecánico, 0-L es cero-labranza.

³ En Siembra, Man es manual (chuzo, espeque) y Mec es mecanizado.

En estas otras estaciones se efectuó el mismo diagnóstico que en las 5 estaciones permanentes en el área marcada. En cada estación se usaron todas las plantas presentes.

Mediciones y Toma de Datos

En cada visita técnica y en cada estación lineal, se evaluaron: la densidad y arreglo espacial de la población (el ancho promedio de surco y el número total golpes, plantas y mazorcas), el estadio fenológico (escala V₁-V_T, R₁-R₆) (Lafitte, 1991; Bolaños y Edmeades, 1993), la altura promedio de planta, el porcentaje de cobertura del suelo (intercepción de radiación) (Bolaños, 1992) y la severidad de limitaciones de distintos factores bióticos y abióticos (densidad, malezas, enfermedades, insectos, sequía, deficiencias nutricionales, acame) (Ortega, 1987; de León, 1984). La escala usada para calificar las limitaciones fue: 0 para el cultivo en condiciones óptimas sin limitaciones, 1 para factor presente pero sin causar mayores daños, y 2 para factor causando limitaciones severas. Durante la visita a la siembra (visita 1) se colectó una muestra de la semilla usada para estimar su porcentaje de germinación. Durante la

visita a la floración (visita 4), en 12 plantas al azar se midió el largo (L) y ancho máximo (A) de la hoja de la mazorca y se estimó el área foliar como $L \times A \times 0.75$, se contó el número de hojas verdes (NHV) presentes debajo de la mazorca, y en 12 jilotes al azar se determinó el número de hileras y el número de granos por una hilera.

Se recopiló un calendario de las actividades culturales realizadas por el agricultor en la parcela, y las herramientas, los insumos y el trabajo (jornales) para su realización. Para cada localidad, se tratará de conseguir toda la información meteorológica disponible (lluvia, temperatura, humedad, radiación). en la estación, el número total de plantas con acame, el número total de mazorcas, el número de mazorcas podridas, y el peso de campo respectivo. En 12 mazorcas al azar, se determinó el índice de desgrane, la humedad de grano por Dickey-john, el número de hileras y número de granos por hilera y el peso de 200 granos.

Se cosecharon 24 plantas al azar al pie de cada base determinándose su peso fresco. Con una estimación de humedad obtenida en una submuestra de 6 plantas se

determinó el peso seco, sumándosele 20% para contabilizar un estimado de las hojas perdidas durante el ciclo. El índice de cosecha (IC) se calculó como la fracción de grano de la biomasa total después de descontar el olote. Con los datos de la cosecha se calcularon los componentes estándares de rendimiento. Al momento de la cosecha, se determinó el rendimiento final y sus componentes en todas las estaciones lineales y en el área marcada de 10 x 10 m. En las 5 estaciones fijas de 5 m, en 5 estaciones al azar de 3 m, y en la parcela de 10 x 10 m, se determinó una distancia promedio entre surcos y se contó el número total de plantas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabilidad en los Componentes de Rendimiento

La mayoría de los agricultores muestreados usan la variedad Francés Largo, un criollo mejorado de olote muy delgado y grano amarillo dentado. Esta variedad tiene buena aceptación en la zona (Cuadro 1). Una característica sobresaliente es la uniformidad en el arreglo topológico de siembra, en forma manual a una distancia promedio entre surcos mayor que 1 m con un arreglo mateado con 3-4 plantas por golpe. Esta característica difiere de los reportes regionales del

PRM, donde predomina un arreglo topológico con 1-2 plantas por golpe (Bolaños et al., 1993).

El Cuadro 2 muestra la densidad inicial de siembra, la densidad final, el rendimiento y sus componentes (mz/m², mz/pl, número de granos por mazorca, peso de 1 grano, peso de mazorca, rendimiento), la biomasa y el índice de cosecha, el porcentaje de pudrición de mazorca, para los 21 agricultores muestreados. Relaciones gráficas entre estas variables se muestran en la Fig. 1.

El rendimiento promedio de los 21 agricultores muestreados fue 2.58 t/ha, debido a una población final de 4.73 pl/m² y de 4.00 mz/m² con peso de 69 g/mz. Se detectaron correlaciones muy pobres en el rendimiento final y la densidad de plantas o mazorcas, pero correlaciones significativas con el peso de mazorca y la biomasa final. La relación entre rendimiento e índice de cosecha mostró una relación curvilínea. Estos datos confirman resultados obtenidos por el PRM (Bolaños et al., 1993).

La mayoría de los agricultores muestreados tuvieron cerca de 4.0 pl/m² a la cosecha, con una mayor variabilidad en el número de mazorcas cosechadas (Fig. 1). Sin embargo, fue el peso de mazorca (y/o índice de cosecha) el factor más determinante en explicar la variabilidad en rendimiento observada.

Cuadro 2. Componentes de rendimiento y parámetros agronómicos en 21 campos de agricultores en la zona de Luperón, República Dominicana, durante 1993-94.

	Poblac		%										
	Inicial	Cosecha	Perdida	Mz/m ²	NG/mz	Mz/pl	PesMz	Rendg	Biomt	Índice Cosech	Pudric	Peso 1g	NHV
1	9.19	8.72	5.1	8.05		0.94	4	0.32			25.4	0.25	6.4
2	4.75	4.06	14.5	3.51	282	0.88	37	1.27			5.9	0.19	3.7
3	8.37	4.31	48.5	3.22	294	0.75	39	1.24			20.8	0.24	4.7
4	4.41												
5	5.12	3.69	27.9	3.46	508	0.95	123	4.22			1.5	0.31	5.0
6	6.04	3.81	36.9	3.83	537	1.02	90	3.47			4.9	0.27	5.4
7	5.56	4.71	15.3	4.98	494	1.07	179	8.83			8.4	0.39	4.4
8	7.89	3.43	56.5	3.17	481	0.93	70	2.21			12.3	0.28	6.3
9		4.06		3.42	457	0.83	84	2.86			1.0	0.26	4.3
10		6.61		5.05	468	0.77	136	6.78			38.1	0.25	4.2
11	8.87	8.72	1.7	8.05		0.94	8	0.70			9.8	0.24	6.3
12	5.52	4.28	22.5	4.18		1.01	45	1.82	5.99	0.31			
13	6.36	4.41	30.7	3.28		0.76	49	1.60	6.61	0.25			
14		4.26		3.29		0.77	69	2.18	6.39	0.35			
15		6.08		4.40		0.73	51	2.21	9.12	0.24			
16		4.26		3.91		0.93	15	0.59	9.58	0.06			
17		2.72		2.45		0.89	9	0.68	6.13	0.11			
18		4.70		2.38		0.51	57	1.35	7.05	0.20			
19		3.97		3.17		0.83	116	3.87	11.91	0.32			
20		3.61		3.10		0.85	127	3.87	10.83	0.36			
21		4.15		3.09		0.76	49	1.52	6.22	0.25			
Media	6.55	4.73	26.0	4.00	477	0.86	69	2.58	7.98	0.25	12.8		

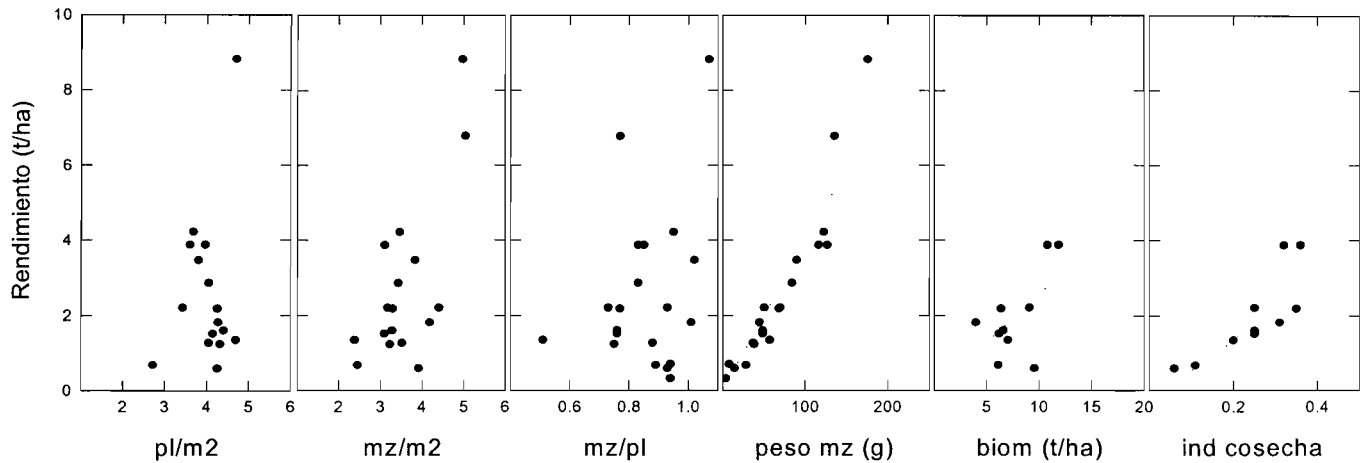


Figura 1. Relación entre rendimiento de grano (t/ha) y la densidad final de plantas (pl/m²) y mazorcas (mz/m²), el número de mazorcas por planta (mz/pl), el peso promedio de mazorcas, la biomasa final y el índice de cosecha para diagnósticos dinámicos agronómicos efectuados en 1993-94 en 21 campos de agricultores en la zona de Luperón, República Dominicana.

Es obvio que rendimientos inferiores a 2.0 t/ha están asociados con una reducción en el peso de la mazorca y una caída drástica en el índice de cosecha (Fig. 1). Estos datos confirman el nivel crítico de rendimiento cercano a las 2.0 t/ha reportado anteriormente por Bolaños et al. (1993).

Tasa de Pérdida de Población Durante el Ciclo

La Figura 2 muestra la dinámica promedio de población de plantas y mazorcas a través de los diferentes estadios de desarrollo del cultivo.

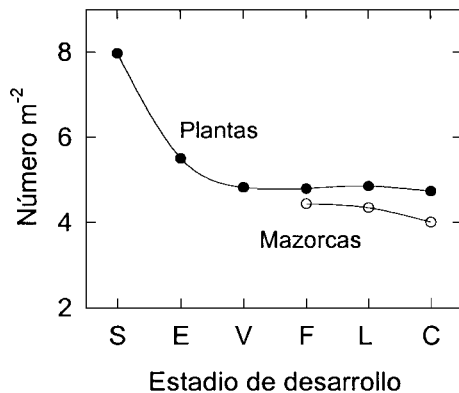


Figura 2. Dinámica promedio de la densidad de plantas y mazorcas a través del ciclo del maíz para los 21 agricultores muestreados en 1993-94. S=siembra, E=establecimiento, V=fase vegetativa, F=floración, L=llenado de grano, C=cosecha.

El número de plantas se reduce 30% de la siembra al establecimiento, 15-20 días después. Esta reducción en el número de plantas coincide con una gran incidencia del gusano cogollero, *Spodoptera* spp., la que obliga a muchos agricultores a resembrar. A partir de esto, la densidad de plantas decrece hasta la cosecha, pero a una tasa lineal y lenta. El número de mz/m^2 también decrece a la misma tasa promedio que la densidad de plantas.

CONCLUSIONES

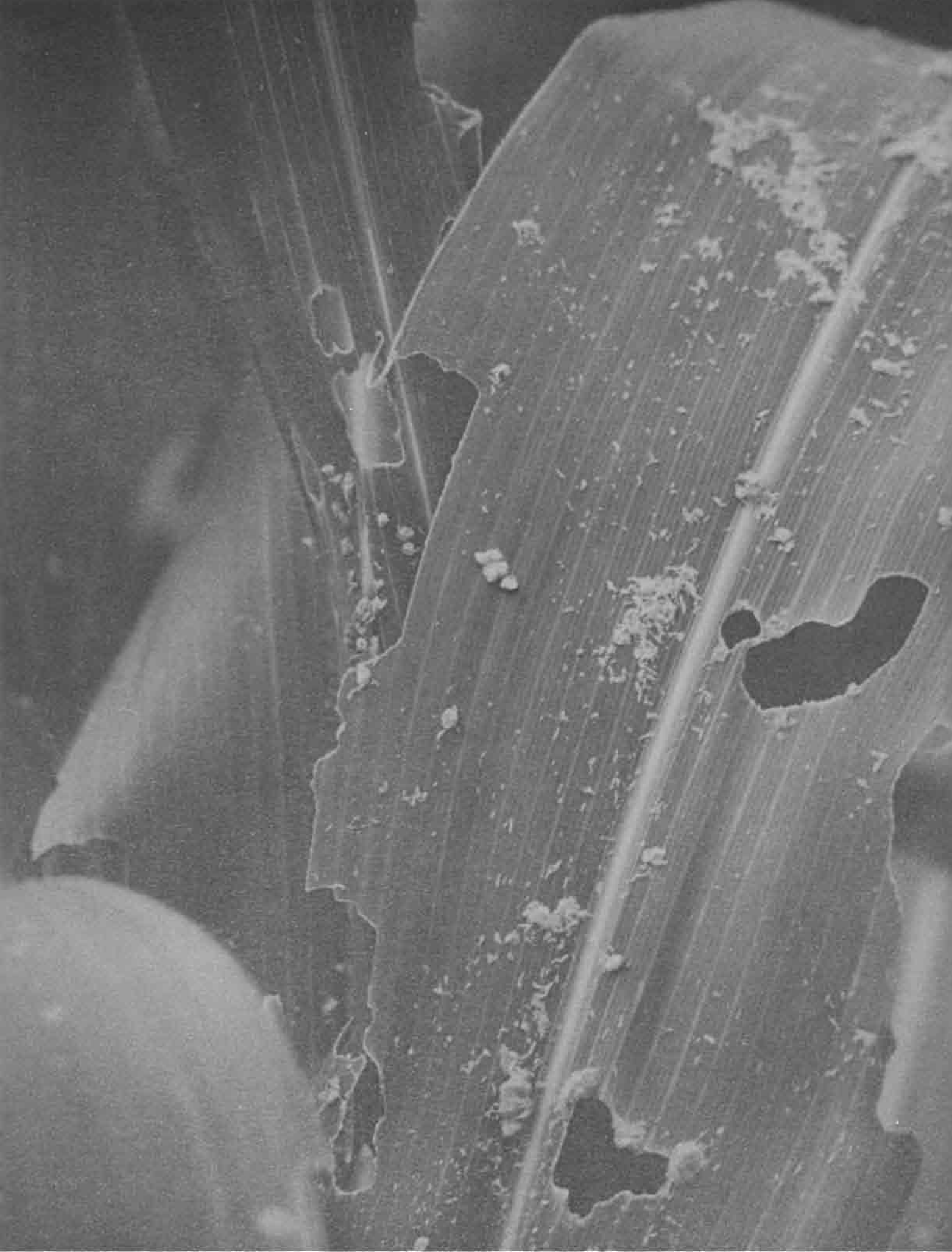
1. El monitoreo dinámico confirmó los datos encontrados en 1992 en parcelas de campos de agricultores (Bolaños et al., 1993). Se encontró una dependencia relativamente pobre del rendimiento final con la densidad final de plantas y mazorcas, pero una correlación muy fuerte con el peso de mazorcas y con la biomasa final.
2. Los datos confirman la sugerencia que parece existir un rendimiento crítico cercano a 2.0 t/ha, rendimientos inferiores a 2.0-2.5 t/ha asociados con una proporción alta de plantas infértiles, bajo número de mazorcas por planta y por ende una caída drástica en el índice de cosecha. Rendimientos superiores a este nivel crítico tienen 1 mz/pl e IC superiores a 0.35.

3. La densidad de plantas y mazorcas decrece casi linealmente a medida que el ciclo del cultivo avanza. La densidad promedio a la siembra fue de 7.97 pl/m², con una pérdida promedio del 30% al establecimiento para 5.50 pl/m² y 10% de reducción adicional hasta la cosecha, para 4.73 pl/m² al final. También se detectó una reducción de mazorcas de 4.4 mz/m² a la floración a 4.0 mz/m² a la cosecha final.

4. El estudio confirma la importancia de analizar los componentes de rendimiento para entender las limitaciones a la productividad del maíz en los sistemas de producción de la región.

REFERENCIAS

- Beavoul, V. 1992. Diagnóstico agronómico y experimentación en las condiciones de producción campesinas. Memoria del Seminario-Taller de Salamá, Guatemala. SAR No. 1992/26, del 25 de Mayo al 5 de Junio de 1992.
- Bolaños, J. Desarrollo del follaje, intercepción de radiación y un modelo simplificado de la productividad del maíz. pp 215-223 en Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM 1991, Vol. 3, CIMMYT, Guatemala.
- Bolaños, J., y H. Barreto. 1991. Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz de 1990. pp. 9-27 en: Análisis de los Resultados Experimentales del PRM 1990, Vol. 2, CIMMYT, Guatemala.
- Bolaños, J. y G.O. Edmeades. 1993. La fenología del maíz. pp 154-165 en: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- De León, C. 1984. Enfermedades del maíz: Una guía para su identificación en campo. CIMMYT, México.
- Lafitte, H.R. 1989. Identificación de los problemas de la producción del maíz. CIMMYT, México (Borrador).
- Ortega, A. 1987. Insectos nocivos del maíz: Una guía para su identificación en campo. CIMMYT, México.
- Pierre, R. 1997. Síntesis de investigación en labranza de conservación con énfasis en Luperón, República Dominicana. pp. 149-153 en: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1993-1995, Vol. 5, CIMMYT, Guatemala.
- Ritchie, S.W. and J. Hanway. 1984. How a corn plant develops. Special Report No. 48, Iowa State University, Iowa.
- Rodríguez, R. y B. Miranda. 1990. Síntesis sobre producción, consumo, generación y transferencia de tecnología para los granos en el istmo de Centro América. PRIAG, Convenio CORECA-CEE/IICA-ALA 88/23. San José, Costa Rica, 131 p.
- Schmook, W. 1989. Los perfiles de maíz de Centro América. CIMMYT, Guatemala.
- Turrent, A. 1983. El rendimiento de maíz en Las Tuxtlas, México. Citado por Beavoul, V. (1992), Diagnóstico agronómico y experimentación en las condiciones de producción campesinas. Memoria del Seminario-Taller de Salamá, Guatemala. SAR No. 1992/26, del 25 de Mayo al 5 de Junio de 1992.





ASPECTOS METODOLOGICOS



El Achaparramiento del Maíz: Patógenos, Síntomas y Diagnóstico

Priscila Henríquez¹ y Dan Jeffers²

RESUMEN

El achaparramiento, una enfermedad del maíz, causa pérdidas severas en varios países de América Latina. Este complejo agrupa tres patógenos: el spiroplasma del achaparramiento (*Spiroplasma kunkelii*), el Phytoplasma del Enanismo Arbustivo del Maíz y el Virus del Rayado Fino, los cuales son transmitidos por cicadélidos del género *Dalbulus*. Entre los síntomas causados se encuentran la reducción del tamaño de los entrenudos, coloraciones rojizas en las hojas, bandas cloróticas en la base de las hojas, amarillamiento, proliferación de mazorcas y proliferación de hijos en la base del tallo. Frecuentemente ocurren infecciones mixtas y la sintomatología suele ser semejante y parece depender del germoplasma y las condiciones ambientales. Por estas razones, el diagnóstico de campo suele ser inadecuado y es necesario realizar pruebas de laboratorio para identificar la presencia de los patógenos. Reacciones antígeno-anticuerpo, especialmente ELISA, son utilizadas para detectar agentes fitopatógenos por su relativa facilidad de operación y bajo costo. Recientemente técnicas de diagnóstico basadas en el uso de ácidos nucleicos han sido desarrolladas con mucho éxito, siendo éstas muy sensitivas y específicas para diagnosticar la enfermedad.

El complejo de enfermedades conocido como achaparramiento es de creciente preocupación para los productores de maíz del trópico y subtropico en el continente Americano. En Florida se reportaron pérdidas de \$60 millones en producción de semilla de híbridos de maíz en 1979-80 (Bradfute et al., 1981). El problema que la enfermedad causa en los trópicos es aún mucho más grave. Por ejemplo, en 1986-87 en el pacífico de Nicaragua la enfermedad afectó 28 mil ha. del cultivo causando pérdidas de U\$ 3-4 millones (MINDIRA-DGA, 1986). Otras epidemias se han reportado en El Salvador (Anaya García, 1975), Panamá (Gordón et al., 1993), República Dominicana, Haití, Honduras y México, las cuales han causado pérdidas considerables. Recientemente, grandes áreas

de Brasil, en donde se siembran híbridos susceptibles, están siendo seriamente afectadas por esta enfermedad (F. Tavares Fernandes 1996, Comunicación Personal).

ANTECEDENTES

El achaparramiento fue observado por primera vez en Río Grande, Texas, por Alstatt (1945) en plantas de maíz que presentaban entrenudos cortos, proliferación de hijos y enrojecimiento de las hojas. Alstatt envió muestras de plantas infectadas con esta "enfermedad del Río Grande" a Kunkel quien llamó a la enfermedad achaparramiento, considerando al agente causal como un virus, y estableciendo que el vector era *Dalbulus maidis*. Posteriormente, Maramorosch (1955) estudió plantas de maíz colectadas en la meseta central de México. Estas plantas mostraban algunos síntomas diferentes de los producidos por la "enfermedad del Río Grande", ya que además presentaban abundante proliferación de hijos, por ello se le consideró como otra cepa del achaparramiento y se le llamó "Mesa Central". En 1961 la enfermedad se identificó en El Salvador (Ancalmo y Davis, 1961), en donde producía plantas con entrenudos cortos y bandas cloróticas.

La confusión perduró durante los años setenta en cuanto a si la enfermedad era causada por un sólo agente con varias cepas, o por distintos patógenos (Davis, 1977). Granados et al. (1968), trabajando con dos "cepas del achaparramiento", una de Louisiana y la del Río Grande, demostraron que los agentes causantes eran prokariotes, carentes de pared celular y susceptibles a tratamientos con tetraciclina. Estos investigadores detectaron los organismos en plantas y en las glándulas salivares de insectos infectados. En 1975, dos grupos de investigadores lograron independientemente aislar y cultivar *in vitro* al spiroplasma, al cual se le llamó *Spiroplasma kunkelii* (Chen and Liao, 1975; Williamson, 1975).

Mucho progreso en el campo de la virología y bacteriología permitió entonces distinguir entre los virus y los prokariotes de la clase Mollicutes, que agrupa organismos difíciles de cultivar o totalmente no-cultivables. Avances en microscopía electrónica, purificación de virus y técnicas de transmisión usando los saltahojas vectores, permitieron establecer que *S.*

¹ Estudiante Becada por Proyecto de Achaparramiento del ODA;

² Fitopatólogo, Programa de Maíz; Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Lisboa 27, 06600 México, D.F

kunkelii es miembro de un complejo de patógenos que causan el achaparramiento, siendo otro mollicute, el phytoplasma del enanismo arbustivo, el agente etimológico relacionado con el síndrome de la cepa Mesa Central (Bradfute and Robertson, 1977; Bascope y Galindo, 1978; Nault, 1980). Igualmente, acelerado progreso se ha logrado en la caracterización del otro miembro del complejo, el virus del Rayado Fino (Gámez, 1977), que es también transmitido por *D. maidis* y al cual inicialmente se consideró como una cepa más de achaparramiento. Los nombres Río Grande y Mesa Central han caído en desuso, y ahora se usa el término "achaparramiento" para el complejo de patógenos transmitidos por cicadélidos del género *Dalbulus*.

Infecciones mixtas de los tres patógenos parecen ser frecuentes, especialmente cuando los niveles poblacionales del vector son altos. Por ello los síntomas producidos por los patógenos suelen mezclarse o enmascarse, y el diagnóstico de achaparramiento bajo condiciones de campo resulta inapropiado y a menudo dudoso. Se desconoce además la reacción de diferentes germoplasmas de maíz a los componentes individuales del complejo que pueden influir en los síntomas observados.

LOS PATOGENOS

Los patógenos que han sido asociados con el achaparramiento son los mollicutes spiroplasma del achaparramiento (CSS) y Phytoplasma del Enanismo Arbustivo del Maíz (MBS), y el Virus del Rayado Fino (MRFV). Estos patógenos son transmitidos en forma persistente por chicharritas del género *Dalbulus* (Homoptera: Cicadellidae), especialmente por la chicharrita del maíz, *D. maidis*. Algunos autores (Whitcomb, 1989) también consideran al Virus del Enanismo Clorótico del Maíz (MCDV), transmitido por especies de *Graminella* como miembro del complejo en Norte América. A continuación se describen brevemente las características de los organismos.

SPIROPLASMA DEL ACHAPARRAMIENTO (CSS)

Spiroplasma kunkelii Saglio *et. al.* (CSS), posiblemente ocurre en todos los países donde también ocurre su vector *D. maidis*, desde el sur de Estados Unidos hasta Argentina (Whitcomb, 1989). *Spiroplasma kunkelii* pertenece a la clase Mollicutes,

orden Spiroplasmatales, familia Spiroplasmataceae. Las células de *S. kunkelii* son móviles, de forma helicoidal, de 5 a 10 µm en longitud, poseen una sola membrana y carecen de verdadera pared celular.

La etiología de CSS ha sido confirmada por los postulados de Koch. Este organismo pasa a través de un complejo ciclo biológico que involucra la ingestión por el vector desde las células del floema de la planta enferma, el pasaje y multiplicación en el canal alimenticio, epitelio, membrana basal y hemocelo hasta las glándulas salivares del insecto, desde donde es inoculado nuevamente a una planta sana cuando éste se alimenta. La eficiencia de *D. maidis* para transmitir CSS alcanza 100% (Markham and Alivizatos, 1983). A través de este proceso se produce la infección a la planta pero no al insecto (Whitcomb and Williamson, 1979). En la planta, el patógeno se encuentra limitado al floema, traslocándose a puntos activos de crecimiento. Estudios de transmisión con *D. maidis* infectados con CSS y usando la técnica de ELISA como diagnóstico, detectaron el patógeno 14 días después de infección con chicharritas, dos semanas antes del apareamiento de síntomas (Gussie *et al.*, 1995). El patógeno se encontró primero en hojas jóvenes, en las espigas en desarrollo, y en grandes concentraciones en las raíces. Debido a que CSS está presente en la planta enferma antes de que los síntomas sean aparentes, CSS puede ser adquirido por las chicharritas antes que la enfermedad sea reconocida por síntomas en el campo.

El rango de hospederos naturales de CSS consiste de maíz y teosinte (*Zea mays mexicana* y *Z. m. parviglumis*). Algunas especies perennes como *Z. diploperennis*, *Z. luxurians* y *Z. perennis* han sido infectadas experimentalmente y es posible que sirvan de reservorios en el campo. Usando la especie europea de saltahojas *Euscelidius variegatus*, el patógeno ha sido transmitido experimentalmente a especies no gramíneas incluyendo frijol haba (*Vicia faba*), "chula" (*Catharanthus roseus*), arveja (*Pisum sativum*), rábano (*Raphanus sativus*) y espinaca (*Spinacia oleracea*) (Alivizatos, 1984; Markham *et al.*, 1977).

Las primeras descripciones de los síntomas causados por CSS son las de Alstat (1945) quien reportó plantas enanas, bandas rojas extendiéndose a todo lo largo de las hojas, y clorosis. En sus primeros experimentos usando *D. maidis* infectados con éste patógeno en el invernadero, Kunkel (1946) reportó que el primer síntoma observado es el apareamiento de bandas cloróticas en la base de las hojas que a medida que la enfermedad progresa se extienden a lo largo de

la misma. Algunos reportes de sintomatología causada por CSS dan lugar a confusión ya que puede haberse tratado de una infección mixta con el phytoplasma, con el virus del rayado fino, o con otro patógeno. Aún más, síntomas también dependen de condiciones de temperatura y genotipo de maíz. Por ejemplo, en maíz dulce en condiciones controladas del invernadero, el patógeno induce el acortamiento de los entrenudos y la formación de bandas cloróticas en las hojas, pero produce muy poco enrojecimiento (Nault, 1980). En ensayos realizados en la estación experimental de Poza Rica donde se liberaron *D. maidis* infectados solamente con CSS para evaluar líneas avanzadas de CIMMYT, se estableció que los síntomas más prevalentes en plantas infectadas fueron la coloración rojiza de las hojas (20%), entrenudos cortos (20%), bandas cloróticas (16%), proliferación de mazorcas (15%) y espiga deformada (13%). Debido a la variedad de síntomas observados en diferentes germoplasmas no resulta posible diagnosticar la presencia de CSS basándose en la observación de síntomas, sino que es necesario hacer los adecuados análisis de laboratorio para su diagnóstico.

PHYTOPLASMA DEL ENANISMO ARBUSTIVO DEL MAÍZ (MBS)

Los phytoplasmas son organismos pertenecientes a la clase Mollicutes, y por mucho tiempo fueron conocidos como "organismos parecidos a mycoplasmas" debido a su semejanza morfológica con mycoplasmas patógenos de animales. Los phytoplasmas son organismos pleomórficos, transmitidos por Cicadélidos, y habitan el floema de la planta, en donde se multiplican. A diferencia de los spiroplasmas y mycoplasmas, hasta ahora los intentos de cultivar phytoplasmas *in vitro* no han sido exitosos, debido probablemente a que se desconocen sus requerimientos nutricionales. Al igual que los spiroplasmas, el control químico de estos organismos no resulta viable debido a que la tetraciclina solamente es bacteriostática y no elimina completamente estos patógenos.

El phytoplasma del enanismo arbustivo del maíz es transmitido por varias especies de *Dalbulus*, y experimentalmente por *Graminella nigrifrons* y *G. sonor* (Granados et al., 1968). Al igual que *S. kunkelii*, MBS tiene como únicos hospederos a maíz y teosinte. *Tripsacum* no ha demostrado ser susceptible al patógeno. En maíz dulce y bajo condiciones de invernadero, el periodo de incubación del patógeno es de 9.5 a 18.9 días (Nault, 1980). Los primeros síntomas

reportados en maíz dulce son clorosis en el margen de las hojas en desarrollo, seguido de enrojecimiento de las puntas de las hojas viejas. A medida que la infección progresa, las hojas presentan clorosis del margen, enrojecimiento, deformación, y acortamiento, se producen numerosos hijos en la base del tallo y axis de las hojas, y proliferación de mazorcas.

El rango geográfico de MBS incluye los Estados Unidos, México, Costa Rica y Perú (Nault and Bradfute, 1979). Por mucho tiempo se consideró que en México, este patógeno estaba limitado a elevaciones altas con climas templados (Whitcomb, 1989). Sin embargo, análisis usando sondas radioactivas identificaron el phytoplasma en muestras de maíz colectadas en Poza Rica, la estación experimental de CIMMYT a baja elevación y de clima tropical (Gordon, sin publicar). Además se ha diagnosticado el patógeno también en muestras de localidades en los trópicos bajos de El Salvador, Nicaragua, Panamá y Belice (Henríquez, sin publicar).

VIRUS DEL RAYADO FINO (MRFV)

El virus del rayado fino está formado por una sola cadena de ARN (León y Gámez, 1981). Los viriones son isométricos, de 22-30 nm de diámetro, las partículas sedimentan en dos componentes: un componente conteniendo cápsidos vacíos de proteína y otro que contiene la nucleoproteína infectiva.

El virus es transmitido por *D. maidis* en forma persistente. No se ha demostrado transmisión mecánica, aunque Louie (1995) logró un porcentaje muy bajo de transmisión (1-25%) en forma experimental en semillas usando micro agujas. MRFV se multiplica dentro del vector (Rivera et al., 1981; Gingery et al., 1982) pero no es transmitido transovarialmente.

MRFV induce la formación de finas manchitas cloróticas en las hojas que se consideran características de la enfermedad. Las primeras manchitas ocurren en las hojas del cogollo, y progresivamente se unen para formar manchas alargadas en toda la hoja, produciendo el rayado característico (Nault and Bradfute, 1979). En genotipos muy susceptibles puede llegar a producir reducción del tamaño de la planta, y por ello puede confundirse con infección de CSS o MBS. Los primeros síntomas ocurren de 8-14 días después de la inoculación, pero en invernaderos y con temperatura controlada hemos observado síntomas a los 5-6 días en maíz Tuxpeño Sequía (Jeffers, sin publicar). Los

síntomas son más severos cuando las plantas son inoculadas a más temprana edad.

El virus está restringido a maíz, teosinte y *Tripsacum*, y se encuentra distribuido geográficamente en asociación con *D. maidis* desde Texas y Florida hasta Brasil, Perú y Paraguay. La estimación de las pérdidas debidas al virus en las planicies costeras de Centro América resulta problemática debido a la combinación de síntomas causados por los otros dos patógenos ya descritos. Sin embargo, se ha estimado que MRFV puede inducir pérdidas de rendimiento de hasta 50% en peso de mazorcas maduras, y en Colombia se observó incidencia del 100% en cultivares muy susceptibles (Gámez, 1977).

***Dalbulus maidis*: VECTOR DEL ACHAPARRAMIENTO**

Las chicharritas del género *Dalbulus* pertenecen a la familia Cicadellidae, Orden Homóptera. Estos insectos poseen un aparato bucal chupador y son estrictamente fitófagos. *Dalbulus maidis* es un especialista en maíz aunque es capaz de sobrevivir en otras gramíneas, y ocurre en la mayoría de los países de América Latina donde se siembra este cultivo. *D. maidis* es el principal vector de los patógenos del achaparramiento, pero seis otras especies de *Dalbulus* también transmiten los patógenos con diferentes grados de eficiencia. Una razón para ello es que CSS es patogénico para todas las especies de *Dalbulus*, exceptuando *D. maidis* (Madden and Nault, 1983). Aunque con efectos menos severos, MBS es patogénico para *D. maidis* y otras especies de *Dalbulus* a excepción de *D. gelbus* y *D. elimatus*.

El ciclo de vida de *D. maidis* está severamente influenciado por la temperatura. Tsai (1988) reportó cinco estadios ninfales, los cuales se acortan con el incremento de temperatura.

En invernaderos de CIMMYT, con temperaturas promedio de 38.5°C máxima y 12.3°C mínima, hemos observado que el período de huevo es de 7 días, el período total de ninfa a adulto de 27 días y los adultos pueden sobrevivir hasta 3 meses (Jeffers, sin publicar).

En Centro América, siembras tardías, precipitación escasa, baja humedad relativa y altas temperaturas son favorables para el desarrollo de altas poblaciones de *D. maidis*.

OTROS VIRUS ASOCIADOS CON ACHAPARRAMIENTO

Virus del Enanismo Clorótico del Maíz (MCDV)

MCDV es transmitido en forma semipersistente por especies de *Graminella*, y aparentemente se encuentra limitado a zonas templadas de Norte América (Gordon and Nault, 1977). En maíz produce síntomas semejantes a los del achaparramiento, incluyendo amarillamiento y enrojecimiento de las hojas, y enanismo. Otro hospedero importante es *Sorghum halepense*, desde el cual el virus puede ser transmitido a maíz. No se tienen reportes de MCDV en Centro América.

Virus del Mosaico Enano del Maíz (MDMV)

MDMV pertenece al grupo de los potyvirus, estando su genoma compuesto por una sola cadena de ARN. Se han reportado cinco cepas de este virus: la cepa A (cepa tipo), B, C, D, y F, las cuales pueden ser distinguidas de acuerdo a su reacción al antisuero contra la cepa A, y por la frecuencia de transmisión de sus distintos vectores (AAP Description of Plant Viruses, 1990). MDMV es transmitido por al menos 25 especies de áfidos (Knoke et al., 1983), incluyendo *Aphis gossypii*, *Acyrtosiphon pisum*, *Rhopalosiphum padi*, *R. maidis* y *Brevicoryne brassicae*. La transmisión es de manera no-persistente pues los áfidos deben alimentarse de la planta enferma por solamente unos minutos, reteniendo el virus durante una o dos horas.

El virus infecta varias especies de gramíneas, incluyendo maíz, sorgo y zacate Johnson (*Sorghum halepense*) desde donde es transmitido a maíz (Knoke et al., 1983). MDMV puede sobrevivir en gramíneas perennes o en las semillas de gramíneas anuales, lo cual representa una importante reservorio natural para el virus y los áfidos que se alimentan de dichas plantas.

Se ha reportado considerable variación en la manifestación de los síntomas en maíz. Durante las primeras etapas de desarrollo de la enfermedad, se desarrollan manchas verde oscuras en las hojas, que a medida que la enfermedad progresa, se vuelven más intensas y llegan a formar mosaicos con bandas difusas. El patrón de este mosaico generalmente se inicia en la base de la hoja y puede ser irregular y difuso (Tsai and Brown, 1989). La cepa A produce mosaicos que usualmente están limitados al área entre

las nervaduras y forman bandas, que también son evidentes en las hojas de la mazorca. El virus puede producir enanismo y poco llenado de las mazorcas.

DIAGNOSTICO DEL ACHAPARRAMIENTO

Como se ha mencionado, el diagnóstico del achaparramiento solamente basándose en síntomas observados en el campo, resulta inadecuado debido a la complejidad de la sintomatología y porque las infecciones mixtas son muy comunes (Leirgulen and Myrstad, 1991). Por ello, fitopatólogos del CIMMYT en cooperación con otros institutos de investigación, están realizando trabajos para obtener técnicas más apropiadas para el diagnóstico de los patógenos del achaparramiento con el objetivo de poner dichas técnicas al servicio de los mejoradores. Las técnicas se agrupan bajo dos grandes enfoques: técnicas de serología (Inmunosorbencia con enzimas conjugadas, ELISA) y técnicas moleculares (Reacción en cadena de la polimerasa, PCR).

Inmunosorbencia con enzimas conjugadas (ELISA)

Esta técnica se basa en una reacción antígeno-anticuerpo, y es usada ampliamente en muchos laboratorios de diagnóstico debido a su facilidad de ejecución, sensibilidad y especificidad. ELISA vino a revolucionar la detección de patógenos en plantas, especialmente virus (Clark and Adams, 1977) y otros organismos no cultivables para los cuales otras técnicas, como el uso de microscopio, no eran factibles.

En una reacción de ELISA, el antígeno o bien el anticuerpo se adhieren a una superficie sólida, y la sensibilidad de la reacción antígeno-anticuerpo se incrementa con la adición de una enzima, usualmente a la fracción de inmunoglobulina G (IgG) del anticuerpo. Cuando la reacción es positiva, la enzima se detecta observando una reacción de color que sigue a la adición de un sustrato apropiado.

Para la detección de CSS y MRFV hemos usado ELISA de doble sandwich (DAS-ELISA) con unidades $F(ab')_2$, antisueros policlonales y protocolos obtenidos del Dr. Don Gordon (Ohio Agricultural Research and Development Center, Ohio State University). En esta prueba de ELISA las paredes del pozo de la placa de polystireno se cubren primero con las unidades $F(ab')_2$ del anticuerpo, previamente purificadas, y aquellas unidades que no se absorben son lavadas con una

solución buffer de fosfato. La muestra conteniendo el patógeno (antígeno) se agrega al pozo y se incuba, lavándose los antígenos que no son retenidos por las unidades $F(ab')_2$. Posteriormente se agrega el anticuerpo de detección y este se marca con Proteína A biotinyilada. Después de lavar la placa se marca la Proteína A biotinyilada con Conjugado de Horseradish Peroxidasa Straptividina seguido de un sustrato que es hidrolizado a un color específico cuando se produce la reacción con la enzima. El color de la reacción se mide con un espectofotómetro. Las muestras en donde el patógeno está presente desarrollan coloración, y la intensidad de este color es indicativo de la concentración del patógeno.

Esta técnica ha demostrado ser muy útil para diagnosticar CSS y MRFV de muestras colectadas en Centro América y México, ya que puede emplearse en muestras frescas, congeladas o liofilizadas. Se requiere un gramo de tejido fresco y pueden procesarse muchas muestras a la vez, y los resultados se obtienen en dos días.

Pruebas con antisueros policlonales desarrollados a partir de la inoculación en conejos con extractos de plantas de maíz infectadas únicamente con MBS, hasta la fecha no han sido satisfactorias debido a la reacción cruzada del antisuero con plantas sanas. Sin embargo, se continúan las investigaciones para desarrollar un antisuero que sea sensitivo y específico para este patógeno (Henríquez et al., sin publicar).

Reacción en cadena de la polimerasa (PCR)

La reacción en cadena de la polimerasa es una importante técnica en biología molecular, que consiste en sintetizar millones de copias de una secuencia de ADN en término de unas horas. Desde su introducción a mediados de 1980 (Mullis and Faloona, 1987) la PCR ha simplificado, acelerado y mejorado el diagnóstico de muchas enfermedades en humanos, animales y plantas.

El genoma de prokariotes y eucariotes consiste de dos cadenas de ADN enlazados por puentes de hidrógeno entre los pares de bases complementarios. En el primer paso de PCR, el DNA es calentado a una temperatura de 94°C para separar las dos cadenas. Dos "iniciadores" (pequeñas piezas de ADN de una sola cadena diseñados para acoplarse a los terminales de la región del genoma que se va a amplificar) se agregan a la reacción. Los iniciadores solamente se anillan a las regiones de ADN que poseen la respectiva secuencia

de bases complementarias. El anillado se produce a una temperatura entre 40°C y 65°C, dependiendo de los iniciadores usados. La segunda cadena de ADN se extiende entonces a partir de los iniciadores por la enzima *Taq* polimerasa, usando como unidades de construcción una mezcla de 5'-trifosfatos de desoxinucleósidos (dNTPs). Este tercer proceso de extensión de la cadena se efectúa a 72°C. Al final del primer ciclo de la reacción de PCR, se obtienen dos copias de la secuencia del ADN que se quiere amplificar. Las dos copias entonces entran a un segundo ciclo de amplificación y luego a un tercero y así sucesivamente, hasta que después de 25 ciclos que toman apenas unas horas, cerca de un millón de copias de la secuencia inicial se han producido. Al final de la reacción, la presencia del ADN amplificado se confirma por electroforesis en una gel de agarosa tiñendo el ADN con bromuro de etidio.

En la práctica el procedimiento es sencillo. El ADN de la muestra a analizar, buffer, MgCl₂, dNTPs, iniciadores y enzima *Taq* se mezclan en un tubo y se colocan en una unidad de calentamiento (termocicler) controlado por una computadora. Este termocicler puede ser programado para cambiar las temperaturas que se requieren para la reacción. El componente crucial del sistema son los iniciadores, los cuales determinan la especificidad de la reacción. Es imperante conocer la secuencia al final del fragmento de ADN que se desea amplificar para diseñar los iniciadores adecuados, ya que la amplificación del ADN ocurre solamente cuando los iniciadores pueden anillarse.

En los laboratorios de CIMMYT hemos usados la PCR para detectar los patógenos del achaparramiento. Los iniciadores han sido gentilmente donados por investigadores de varios países (para CSS: Dr. Colette Saillard; INTA, Bordeaux, France; para MBS: Dr. Nigel Harrison, University of Florida; y para MRFV: Dr. Rose Hammond, USDA).

La limitante principal es evitar contaminación entre las muestras por lo cual se debe poner mucho cuidado especialmente cuando se extrae ADN de muchas muestras a la vez, lo cual limita el número de muestras que una persona es capaz de procesar a 40 por día. Los resultados se obtienen a los tres días y para esta técnica se usan solamente 0.2 g de tejido fresco tomado de la base de la segunda hoja superior de la planta.

MEJORAMIENTO GENÉTICO PARA ACHAPARRAMIENTO

Con el objetivo de asegurar la producción sostenida de maíz en zonas en donde el achaparramiento representa una amenaza potencial, el CIMMYT y el Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe (PRM) han puesto interés especial en el desarrollo de variedades tolerantes al achaparramiento. Así, varias poblaciones han estado bajo mejoramiento en esquemas de selección recurrente con evaluaciones llevadas a cabo bajo presión natural de achaparramiento en varios ambientes de Centro América. Bajo este enfoque se han obtenido logros substanciales en producción y reducción en el porcentaje de plantas con síntomas. Es por lo tanto importante contar con técnicas de diagnóstico que puedan discriminar e identificar separadamente dichos componentes. Este trabajo se está realizando en apoyo a los mejoradores de CIMMYT y del PRM, y se espera sea una contribución en la búsqueda de resistencia a esta enfermedad.

REFERENCIAS

- Alvizatos, A. S. 1984. Corn stunt Spiroplasma in dicotyledoneous plants. *Phytopathologische Zeitschrift*. 110:148-155.
- Alstatt, G. E. 1945. A New Corn Disease in the Rio Grande Valley. *Plant Disease Reporter*. 29:533-534.
- Anaya García, M. A. 1975. Determinación del período mínimo y óptimo de inoculación necesario para que el vector *D. maidis* transmita el patógeno causante del achaparramiento del maíz. *SIADES (El Salvador)* 4:9-14.
- Ancalmo, O. and Davis, W. C. 1961. Achaparramiento (corn stunt). *Plant Disease Reporter* 45:281.
- Association of Applied Biologists. 1990. AAB Description of Plant Viruses. *Maize Dwarf Mosaic Virus*. No. 341. Warwick, U.K.
- Bascope, B. and Galindo, J. 1978. Mycoplasmic nature of the "Mesa Central" corn stunt. In: *Third International Congress of Plant Pathology*. Munich, Germany. 16-23 August 1978 (Abstr.). *Deutsch. Phytomed. Gesellschaft*.
- Bradfute, O.E., Tsai, J.H. and Gordon, D.T. 1981. Corn stunt Spiroplasma and viruses associated with a maize disease epidemic in Southern Florida. *Plant Disease* 65:837-841.
- Bradfute, O. E. and Robertson, D. C. 1977. Electron Microscopy as a Means for Discovery of New Maize Viruses and Virus-like Pathogens. In: *Proceedings International*

- Maize Virus Disease Colloquium and Workshop. D.T. Gordon, J.K. Knoke and R.M. Ritter (eds.), Wooster, Ohio. pp. 103-107.
- Chen, T.A., and Liao, C.H. 1975. Corn stunt spiroplasma: isolation, cultivation and proof of pathogenicity. *Science* 188:1015-1017.
- Clark, M. F. and Adams, A.M. 1977. Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of plant viruses. *Journal of General Virology*. 34:475-483.
- Davis, R.E. 1977. Spiroplasma: Role of Diagnosis of Corn Stunt Disease. In: Proceedings International Maize Virus Disease Colloquium and Workshop. D.T. Gordon, J.K. Knoke and R.M. Ritter (eds.), Wooster, Ohio. pp. 92-98.
- Gámez, R. 1977. Leafhopper-transmitted maize rayado fino virus in Central América. In: Proceedings International Maize Virus Disease Colloquium and Workshop. D.T. Gordon, J.K. Knoke and R.M. Ritter (eds.), Wooster, Ohio. pp. 15-19.
- Gingery, R.W., Gordon, D.T. and Nault, L.R. 1982. Purification and properties of an isolate of maize rayado fino virus from the United States. *Phytopathology*. 72:1313-1318.
- Gordon, D.T. and Nault, L.R. 1977. Involvement of maize chlorotic dwarf virus and other agents in stunting disease of *Zea mays* in the United States. *Phytopathology* 67:27-34.
- Gordón, R., Camargo, I., de Gracia, N., González, A., Pérez, D., Alvarado, A. y Franco, J. 1993. Situación del Achaparramiento en el Cultivo del Maíz en Azuero, Panamá, 1992-93. In: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992. Vol 4:239-246.
- Granados, R.R., Maramorosch, K., and Shikata, E. 1968. Mycoplasma: Suspected etiologic agent of corn stunt. *National Academy of Sciences. USA proc.* 60:841-844.
- Gussie, J. S., Fletcher, J., and Claypool, P. L. 1995. Movement and Multiplication of *Spiroplasma kunkelii* in Corn. *Phytopathology* 85:1093-1098.
- Knoke, J.K., Louie, R., Madden, L.V. and Gordon, D.T. 1983. Spread of Maize Dwarf Mosaic Virus from Johnsongrass to Corn. *Plant Disease* 67:367-370.
- Knoke, J.K., Anderson, R.J., Louie, R., Modelen, L.V., and Findley, W.R. 1983. Insect vectors of Maize Dwarf Mosaic Virus and Maize Chlorotic Dwarf Virus. In: Proceeding International Virus disease Colloquium and Workshop. D.T. Gordon, Knoke, J.K., Nault, L.R. and Ritter, M.E. (eds.), Wooster, Ohio. pp. 130-138.
- Kunkel, L. O. 1946. Leafhopper Transmission of Corn Stunt. *Proceedings of the Natural Academy of Sciences. U.S.A.* 32:246-247.
- Leirgulen, A. and Myrstad, I. 1991. Corn Stunt and Maize Bushy Stunt Disease: Study of symptoms expression in four varieties of maize, at three locations in Nicaragua. Msc Thesis. Agricultural University of Norway. 66-72 pp.
- León, P. y Gámez, R. 1981. Some physicochemical properties of maize rayado fino virus. *Journal of General virology*. 56:67-75.
- Louie, R. 1995. Vascular puncture of maize kernels for the mechanical transmission of maize white line mosaic virus and other viruses of maize. *Phytopathology*. 85:139-143.
- Madden, L.V. and Nault, L.R. 1983. Differential pathogenicity of corn stunting mollicutes to leafhopper vectors in *Dalbulus* and *Balbulus* species. *Phytopathology*. 73:582-585.
- Maramorosch, K. 1955. The occurrence of two distinct types of corn stunt in Mexico. *Plant Disease Reporter*. 39:896-898.
- Markham, P.G. and Alivizatos, A.S. 1983. The transmission of corn stunt spiroplasma by natural and experimental vectors. In: Proceedings International Maize Virus Disease Colloquium and Workshop. D.T. Gordon, J.K. Knoke and R.M. Ritter (eds.), Wooster, Ohio. pp 56-61.
- Markham, P.G., Townsend, R., Plaskitt, K.A. and Saglio, P. 1977. Transmission of corn stunt to dicotyledonous plants. *Plant Disease reporter* 61:342-345.
- MINDIRA-DGA. 1986. Incidencia del achaparramiento en el cultivo del maíz y su impacto en el país. sin publicar. Managua, Nicaragua, 13 p.
- Mullis, K.B. and Faloona, F.A. 1987. Specific synthesis of DNA *in vitro* via a polymerase-catalysed chain reaction. *Methods in Enzymology*. 155:335-350.
- Nault, L. R. 1980. Maize bushy stunt and corn stunt: A comparison of disease symptoms, pathogen host ranges, and vectors. *Phytopathology* 70:659-662.
- Nault, L. R. and Bradfute, O. E. 1979. Corn Stunt: Involvement of a Complex of Leafhopper-borne Pathogens. In: Leafhoppers Vectors and Plant Disease Agents. K. Maramorosch and K. F. Harris (Eds.). Academic Press, New York. 561-585p.
- Rivera, C., Kozuka, Y. and Gámez, R. 1981. Rayado fino virus: detection in salivary glands and evidence of increase in virus titre in the leafhopper vector *Dalbulus maidis*. *Turrialba* 31:78-80.
- Tsai, J.H. 1988. Bionomics of *Dalbulus maidis* (DeLong and Wolcott), a vector of mollicutes and virus (Homoptera: Cicadellidae). In: Mycoplasma Diseases of Crops; basic and applied aspects. K. Maramorosch and Raychaudhuri, s.p (eds). Springer-Verlag. 456 p.

- Tsai, J.H and Brown, L.G. 1989. Maize Dwarf Mosaic Virus. Plant Pathology Circular No. 320. Florida deprtament of Agriculture and Consumer Services.
- Williamson, D.L. and Whitcomb, R.F. 1975. Plant mycoplasmas: a cultivable spiroplasma causes corn stunt disease. Science 188:1018-1020
- Whitcomb, R.F. 1989. *Spiroplasma kunkelii*: Biology and Ecology. In: The Mycoplasmas V. Spiroplasmas, Acholeplasmas and Mycoplasmas of Plants and Arthropods. R.F. Whitcomb and J.T. Tully (Eds.). Academic Press, Inc. London. 487-544 pp.
- Whitcomb, R.F. and Williamsom, D.L. 1979. Pathogenicity of Mycoplasmas for Arthropods. Zentralblatt fur Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten and Hygiene. Abt. 1. Orig., Reihe A 245:200-221.

Un Modelo Simplificado de la Productividad Potencial del Maíz

Jorge Bolaños¹

RESUMEN

Este trabajo presenta un modelo simple de la productividad primaria de los cultivos anuales, usando como ejemplo el maíz (*Zea mays* L.). El rendimiento es producto de la radiación interceptada por el follaje durante el ciclo, su conversión en biomasa a través de la fotosíntesis y la distribución de materia seca hacia la fracción cosechable. El marco conceptual y estimados razonables de los parámetros se esquematizan con casos hipotéticos de maíz tropical bajo distintas condiciones ambientales y de manejo. La duración del ciclo, el nivel de radiación disponible, la intercepción de radiación por el follaje, la eficiencia de conversión y el índice de cosecha son las variables necesarias para estimar rendimiento. En gran medida, la productividad del cultivo depende más en la cantidad de radiación que logre interceptar durante el ciclo, que en la eficiencia de conversión. Asimismo, el marco conceptual provee los elementos para una examinación *ex-ante* de los efectos de distintas estrategias agronómicas sobre la productividad.

Este trabajo presenta un modelo simplificado de la productividad potencial de los cultivos anuales. En este, el rendimiento es el resultado de la asimilación neta de dióxido de carbono y su distribución hacia la fracción cosechable del cultivo, integrada a lo largo de la duración del ciclo (desde la emergencia a la cosecha). Dicho en forma matemática:

$$R = IC \int A dt$$

donde R es rendimiento (fracción cosechable), IC es índice de cosecha o la proporción de R en la biomasa total, A es la asimilación neta por unidad de área, y t es tiempo (Monteith, 1990; Loomis and Connor, 1992). O sea, la acumulación de biomasa depende de la radiación incidente, la fracción de esta interceptada por follaje verde, la eficiencia de conversión en biomasa a través de la fotosíntesis y su distribución a la parte cosechable del cultivo. Por tanto, R también se puede expresar de la siguiente manera:

$$R = t \times R_s \times \%RI \times E \times IC$$

donde t es la duración del cultivo en días; R_s es el promedio diario de la radiación incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), %RI es el porcentaje de la radiación interceptada por follaje verde durante el ciclo, E es la eficiencia de conversión promedio (g MJ^{-1}) y IC es el índice de cosecha. Este marco conceptual permite estimar el rendimiento con bastante precisión ($\pm 1-2 \text{ t ha}^{-1}$) usando estimados razonables de los parámetros %RI, E y IC, y además provee un marco conceptual para una examinación *ex-ante* del impacto potencial de distintas estrategias agronómicas sobre la productividad.

El ambiente de la radiación

La radiación solar (R_s) (onda corta) incidente sobre los trópicos (0-30 grados de latitud) varía entre 10 y 25 $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, (1 $\text{MJ}=10^6$ Joule y 1 Joule=0.24 calorías), principalmente por cambios en la nubosidad y el día del año (Gates, 1980). La proporción del R_s total (onda corta) que es fotosintéticamente activa (PAR) (400-700 nm) es casi siempre el 48-52% (Loomis and Connor, 1991). La constante solar (la radiación incidente afuera de la capa atmosférica de la tierra) es cerca a 30 $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, pero la atenuación por las partículas atmosféricas típicamente reducen R_s a 20-25 $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para días claros, sin nubosidad, de verano, y a 5-10 $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ o más para días nublados y lluviosos. La radiación se mide típicamente por piranómetros en estaciones meteorológicas, pero puede ser estimada conociendo la latitud, el día del año y la proporción de horas brillantes a horas con nubosidad (Gates, 1980). Por ejemplo, en un ambiente con un valor promedio de R_s de 20 $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, un cultivo de 120 días dispondría de 2400 MJ m^{-2} durante el ciclo. En gran medida, la productividad potencial estará determinada por la radiación capturada por el cultivo de este total disponible.

Desarrollo del follaje e intercepción de radiación

En los cultivos anuales, el desarrollo del follaje y su intercepción de radiación a través del tiempo dependerá de la densidad de siembra, la tasa de expansión del follaje, la arquitectura foliar, el arreglo

¹ Agrónomo Regional, CIMMYT, Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe (PRM), Guatemala.

espacial, y muchos otros factores ambientales y genéticos. La radiación interceptada por un cultivo depende de la radiación solar incidente (R_s) y el porcentaje de esta interceptada por el follaje a lo largo del ciclo (Monteith, 1990). En los cultivos anuales, la interceptación de radiación aumenta exponencialmente después de la siembra a medida que la planta crece y el follaje se expande, eventualmente cubriendo casi totalmente el suelo y capturando casi toda la radiación incidente (ver Figura 1). En los estadios iniciales del desarrollo del cultivo, mucha de la radiación incidente no es interceptada por el follaje y la producción de biomasa se encuentra limitada por el tamaño del follaje (Hsiao, 1982). Dada la arquitectura de la mayoría de los cultivares de maíz, interceptación total de la radiación incidente ocurre con índices foliares (*leaf area index, LAI*) (m^2 de follaje por m^2 de suelo) que oscilan de 3-4 para cultivares con hojas laxas y grandes, y de 5-6 para cultivares con hojas pequeñas y erectas (Fischer and Palmer, 1984). Normalmente, el maíz se siembra a densidades de 4 a 7 plantas m^{-2} (Fischer and Palmer, 1984). La interceptación de radiación disminuye durante el estadio de llenado de grano debido a la senescencia del follaje y la pérdida de área foliar verde.

La suma acumulativa de la radiación interceptada por el follaje a lo largo de todo el ciclo es el principal factor que determina la biomasa total producida, y no la intensidad en un momento dado (Monteith, 1990; Loomis and Connor, 1992). Existe una relación muy estrecha entre la suma acumulativa de la radiación interceptada por el follaje y la biomasa total producida en muchos cultivos, así como el consumo de agua (Monteith, 1990). Para maximizar la productividad en ambientes sin limitaciones hídricas, el cultivo deberá cubrir el suelo rápidamente y mantener su área verde foliar por un período largo.

Si el cultivo experimenta estrés al comienzo del ciclo (aún si el estrés es muy ligero), estos efectos normalmente se acumulan a lo largo del tiempo, reduciendo significativamente la cantidad total de radiación interceptada por el cultivo durante el ciclo (Hsiao, 1982). Estos principios se esquematizan con los casos A, B y C de cultivos de maíz en la Figura 1. Los porcentajes mostrados se refieren al total de la radiación disponible interceptada por el follaje desde la emergencia a la cosecha en cada caso, o sea, el área mostrada bajo cada curva (%RI).

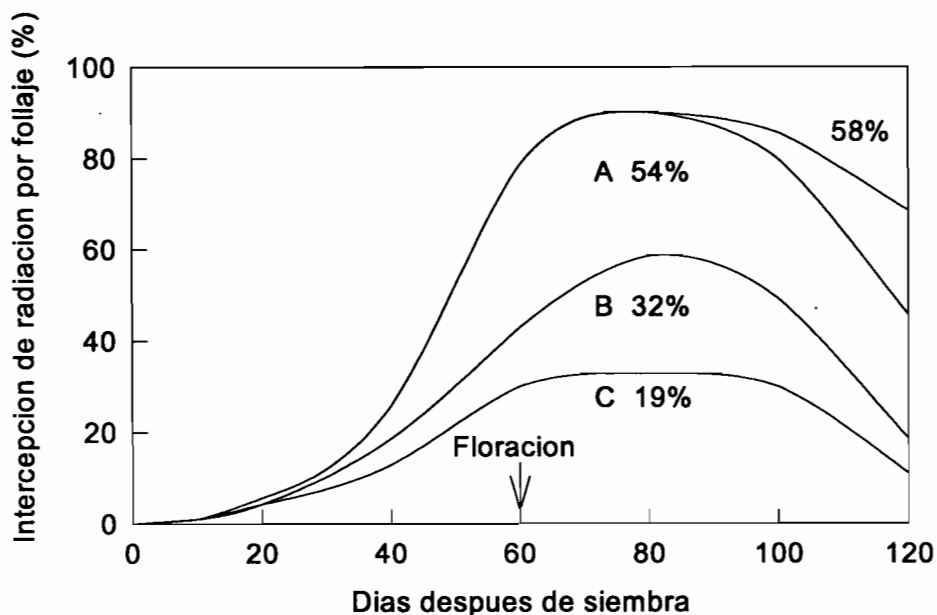


Figura 1. Desarrollo del follaje e intercepción de radiación de tres cultivares esquemáticos de maíz (A,B,C) a través del tiempo. Los números representan el porcentaje total de la radiación interceptada por el follaje durante el ciclo (ej., el área bajo la curva). Ver texto para descripción de los ejemplos.

El cultivo A de maíz ejemplifica condiciones de un buen manejo agronómico, buena fertilidad y buen manejo de malezas. El follaje cubre rápidamente el suelo y llega a interceptar cerca del 95% de la radiación solar disponible con la cobertura final del suelo por el follaje. Sin embargo, este cultivo solamente intercepta el 54% de la radiación total disponible a lo largo del ciclo.

La línea punteada refleja cambios por uso de un cultivar con mejor mantenimiento del área verde foliar (*staygreen*), por lo que captura 4% más de radiación que el cultivo A, o 58% del total disponible. Por tanto, para maíz en condiciones típicas del trópico, aún con el mejor manejo agronómico posible, el cultivo solamente llega a interceptar un máximo del 50-60% de la radiación total disponible.

El cultivo B de maíz tipifica muchos agricultores de bajos recursos con mal manejo agronómico, baja fertilidad, mal control de malezas, y otros factores limitantes, cuya consecuencia es que el follaje no cubre totalmente el suelo y no intercepta la radiación total disponible por día. El efecto de este desarrollo incompleto del follaje se acumula a través del tiempo, y la cantidad total de radiación interceptada por el cultivo decrece fuertemente, interceptando solamente el 32% de la radiación disponible durante el ciclo, 22% menos que el cultivo A. Si hay malezas presente, la radiación no interceptada por el cultivo será interceptada por ellas, con implicaciones que estas también usarán parte del agua y N disponible.

El cultivo C de maíz representa el desarrollo del follaje bajo un caso aún más extremo y severo de mal manejo agronómico y presencia de estreses ambientales. Esta curva ejemplifica condiciones donde el desarrollo del follaje es reducido desde muy temprano en su desarrollo por sequía, baja fertilidad, y/o competencia por malezas. Los estreses se acumulan a través del tiempo, y el cultivo C solamente intercepta el 19% de la radiación total disponible durante el ciclo, 35% menos que el cultivo A.

Por tanto, aún con el mejor manejo agronómico posible (ej., cultivo A), 60-65% parece ser el máximo del total de la radiación disponible durante el ciclo que el follaje de maíz logra interceptar en su desarrollo, ya que hay pérdidas substanciales durante la fase inicial después de la siembra y durante el llenado de grano cuando las hojas comienzan su senescencia (Muchow, 1989; Monteith, 1990). Cultivos con mal manejo agronómico interceptarán aún menor cantidad de radiación (ej., 30-40% para el cultivo B y 20% para el

cultivo C). Estos estimados de %RI para los casos A, B y C se comparan favorablemente con reportes de 55-60% para %RI en condiciones de buen manejo agronómico y valores de 30-40% bajo condiciones de estrés hídrico o de N (Muchow and Davis, 1988; Muchow 1989a; Muchow, 1989b). En otro estudio de más de 100 líneas S₁ de maíz de origen tropical y templado, %RI promedió 39% y tuvo un rango de 30-46% (Chapman and Edmeades, 1996).

En el caso de cultivos en asocio, la radiación desaprovechada por el cultivo principal puede ser aprovechada por el cultivo en asocio. Por ejemplo, si sembramos una leguminosa de forma simultánea con el maíz (ej., canavalia en surcos alternos), la radiación no utilizada por el maíz al inicio del ciclo, o al final del ciclo, podrá ser usada por el cultivo en asocio. Asumiendo que el maíz intercepte alrededor del 60% de la radiación disponible, y otro 15% no será aprovechada por ineficiencias del sistema, entonces alrededor del 25% de esta radiación podrá ser aprovechada por el asocio para producir biomasa.

Eficiencia del uso de la radiación y productividad

La eficiencia con que distintos cultivos o cultivares de maíz convierten radiación (R_s) en biomasa se denomina la eficiencia de conversión (E) y tiene unidades de gramos de biomasa producidos por MJ interceptados. La productividad potencial de una superficie de cultivo es de 1.7 g MJ⁻¹ (3.4 g MJ⁻¹ PAR) en base a cálculos teóricos, pero aún los valores récord reportados sobre la productividad de diversos cultivos solamente alcanzan el 50-60% de este potencial teórico (Loomis and Connor, 1992). En general, la eficiencia de conversión (E) es un parámetro bastante conservador en la naturaleza (Monteith, 1990; Muchow et al., 1990). Cultivos con metabolismo C₄ tienen valores de E alrededor de 1.0-1.5 g MJ⁻¹, y cultivos con metabolismo C₃ de 0.5-1.0 g MJ⁻¹ (Monteith, 1990).

Para maíz, valores de E de 1.2-1.5 g MJ⁻¹ son normales para buen manejo agronómico (Muchow et al., 1990; Loomis and Connor, 1992). Sin embargo, los ambientes templados disponen de mayor radiación por unidad de tiempo termal que los ambientes tropicales, caracterizados por temperaturas altas y un desarrollo fenológico rápido del cultivo, y altas tasas respiratorias (Fischer and Palmer, 1984). A través de diversos ensayos, E promedió 1.0-1.2 g MJ⁻¹ para maíz en buenas condiciones agronómicas y 0.4-0.6 g MJ⁻¹ para maíz bajo estrés hídrico o deficiencias de N (Muchow and Davis, 1988; Muchow, 1989a; Muchow, 1989b).

Estos mismos autores reportaron una relación lineal entre E y el contenido específico de N para hojas de maíz y sorgo a través de un rango amplio de disponibilidad de N (Muchow and Davis, 1988). Debido que el contenido de N decrece a medida que la planta envejece, E también decrecerá con el desarrollo del cultivo. También hay reportes que E decrece a medida que la humedad del ambiente se reduce (Muchow et al., 1990).

En ciclos de selección de Tuxpeño, Bolaños y Edmeades (1993) reportan valores de 0.8 g MJ⁻¹ bajo riego normal y 0.4 g MJ⁻¹ bajo sequía en Tlaltizapán, México, un sitio con conocidas deficiencias de hierro. En otro estudio, los valores promedios de E fueron cerca de 1.0 g MJ⁻¹ a través de 10 poblaciones, sintéticos y variedades tropicales de maíz, detectándose muy poca variabilidad genética para E (Lafitte, comunicación personal).

Por tanto, para follaje de maíz sin limitaciones, un buen estimado para E puede ser 1.2 g MJ⁻¹ para condiciones de trópico. Los valores máximos reportados de E para maíz (en su fase vegetativa) en la literatura son de 1.4 g MJ⁻¹ (Muchow, 1989; Muchow et al., 1990). Sin embargo, en condiciones de baja fertilidad, estrés hídrico, etc., E puede bajar a 0.5 g MJ⁻¹ o aún más (Muchow et al., 1990).

Para un día típico en el trópico, con un promedio de 20 MJ m⁻² día⁻¹ de radiación solar, intercepción completa por el follaje de maíz (100% de cobertura del suelo), y una eficiencia de conversión (E) de 0.5-1.0 g MJ⁻¹, la producción diaria de biomasa por un cultivo de maíz sería de 100 a 200 kg ha⁻¹ por día.

Producción de grano e índice de cosecha

El maíz produce biomasa a través de la fotosíntesis, pero la materia seca tiene que ser redistribuida hacia la mazorca, que es la fracción cosechable. Híbridos disponibles en la zona templada tienen IC's de 50-55%, pero la mayoría de los maíces tropicales tienen IC's de 40-45% (Fischer and Palmer, 1984; Bolaños and Edmeades, 1993). Sin embargo, si hay estrés durante la floración, IC puede reducirse drásticamente (15-20%), ya que el aborto de granos y/o mazorcas por planta aumenta (Fischer and Palmer, 1984). Cultivares de maíz criollos tienen índices de cosecha inferiores a maíces mejorados.

Modelo simple de la productividad

En base a las consideraciones anteriores, la productividad potencial (materia seca o biomasa) y el rendimiento de grano (materia seca total multiplicada por el índice de cosecha) se pueden estimar así:

$$\text{Biomasa total} = t \times R_s \times \%RI \times E$$

$$R = t \times R_s \times \%RI \times E \times IC$$

donde *t* (tiempo) es la duración del cultivo en días, que puede variar según la precocidad, el fotoperíodo, y la temperatura (de 90 a 120 días para maíces tropicales); *R_s* es la radiación solar diaria (de 10 a 20 MJ m⁻² día⁻¹, fundamentalmente dependiendo de la nubosidad); *%RI* es el porcentaje de la radiación interceptada por el cultivo (de 0.6 para buen manejo agronómico hasta 0.2 por mal manejo agronómico, Fig. 1); *E* es la eficiencia de conversión de radiación en materia seca (1.2 g MJ⁻¹ para follaje sin estrés y 0.5 g MJ⁻¹ en situaciones limitantes marginales); y *IC* es el índice de cosecha, que depende de la fracción de la biomasa destinada a la mazorca (45-50% máximo, pero estreses durante la floración lo reducen).

El cultivo A interceptó el 54% de la radiación disponible (20 MJ m⁻² día⁻¹ x 120 días x 0.54 = 1296 MJ m⁻²), o sea, casi 1300 MJ m⁻² durante el ciclo. Con una eficiencia (E) cercana a 1.0 g MJ⁻¹, esto significa que este cultivo producirá 1300 g m⁻², o sea, 13.0 ton ha⁻¹ de biomasa. Con un índice de cosecha (IC) de 0.5, esto significa una producción de grano de 6.5 ton ha⁻¹. Este valor concuerda bastante bien con los potenciales para cultivares de maíz de 120 días en el trópico.

El cultivo B interceptó el 32% de la radiación disponible (20 MJ m⁻² día⁻¹ x 120 días x 0.32 = 768 MJ m⁻²), o sea, un total de 768 MJ m⁻² durante el ciclo. Con una eficiencia (E) de 0.7 g MJ⁻¹ (asumiendo una reducción en E debido a estreses), entonces, esto significa una producción de biomasa de (768 MJ m⁻² x 0.7 g MJ⁻¹ = 538 g m⁻²), o sea, 5.4 ton ha⁻¹. Con un índice de cosecha (IC) de 0.5, esto significa una producción de grano de 2.7 ton ha⁻¹.

El cultivo C interceptó el 19% de la radiación disponible (20 MJ m⁻² día⁻¹ x 120 días x 0.19 = 456 MJ m⁻²), o sea, solamente 456 MJ m⁻² de un total disponible de 2400 MJ m⁻² a través del ciclo. Con una eficiencia (E) de 0.5 g MJ⁻¹ (menor por mayor estrés), esto significa una producción de biomasa de 2.3 ton ha⁻¹. Si asumimos un índice de cosecha (IC) de 0.5, esto significa una producción de grano de 1.1 ton ha⁻¹,

la cual sería menor con un IC menor. Es sorprendente que este simple modelo de productividad estime con realismo la productividad de muchos campos de agricultores de maíz de la región.

En resumen, el rendimiento de grano es el producto de los siguientes factores (cultivos A, B y C):

$$A: 120 \times 20 \times 0.54 \times 1.0 \times 0.5 = 648 \text{ g m}^{-2} = 6.5 \text{ t ha}^{-1}$$

$$B: 120 \times 20 \times 0.32 \times 0.7 \times 0.5 = 269 \text{ g m}^{-2} = 2.7$$

$$C: 120 \times 20 \times 0.19 \times 0.5 \times 0.5 = 110 \text{ g m}^{-2} = 1.1$$

La manipulación de las distintas variables permiten evaluar el impacto de diversos cambios sobre la productividad, por ejemplo, evaluar cambios genéticos (mejor índice de cosecha, mayor estabilidad, *staygreen*, rápida expansión vegetativa, etc.), cambios agronómicos (cambios en E y %RI), cambios en la duración del cultivo, cambios en la radiación solar disponible (días largos vs cortos), etc.

El costo en agua de la productividad

El follaje consume agua al interceptar radiación, ya que toma el equivalente de una radiación incidente de $2.4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para evaporar 1 mm de agua por día (se necesitan 683 calorías para evaporar 1 g de agua a $20 \text{ }^\circ\text{C}$) (Gates, 1980). Mientras la superficie se encuentre húmeda o mojada o actúe como una superficie húmeda (ej., cubierta por el follaje de plantas, cultivos, pastos, bosques, etc.), más del 90% de la radiación incidente se disipará en la energía liberada a través de la evapotranspiración (ET) y muy poca a través del calor sensible (se denomina sensible porque se siente a través de un incremento en la temperatura). Si la superficie se encuentra seca (ej., suelo seco), entonces la energía incidente tendrá que disiparse como calor y la temperatura aumentará considerablemente (por ejemplo, al mediodía, compare la temperatura de arena mojada y arena seca en la playa, o la de un pasto verde con un piso de concreto o pavimento, etc.).

Por tanto, el porcentaje del área de la superficie que actúa como superficie húmeda es una buena primera aproximación para estimar el porcentaje de la radiación incidente que se disipará en ET. Este principio le da base al concepto de coeficientes de cultivo (K_c), usados para calcular el ET de un cultivo en base al ET potencial o ET_o (Dorenboos and Pruitt, 1984). El porcentaje del área que se encuentre seca no podrá disipar la energía incidente como ET, sino como calor sensible. En caso de advección, cuando el área se

encuentra rodeada de áreas extensas secas y calientes, entonces el ET (expresado en unidades energéticas usando $1 \text{ mm} = 2.4 \text{ MJ m}^{-2}$) podrá exceder a R_s por 20-40% debido al calor sensible adicional proveído por la advección.

Con estos estimados se puede predecir la demanda potencial de agua (ET_o , o evapotranspiración potencial) para distintos ambientes. En general, en los trópicos, ET_o podrá variar desde $3\text{-}4 \text{ mm día}^{-1}$ en lugares nublados, húmedos, $5\text{-}6 \text{ mm día}^{-1}$ en lugares tropicales de verano; y $7\text{-}8 \text{ mm día}^{-1}$ en lugares muy cálidos y áridos (Gates, 1980).

El costo en nutrientes de la productividad

El maíz necesita adquirir nutrientes del suelo para sostener la productividad descrita anteriormente. El nitrógeno (N) es normalmente el elemento más limitante a la productividad. El fósforo (P) es también otro elemento limitante. Muchos de los suelos de la región tienen contenidos de potasio (K) altos y los cultivos normalmente no responden a aplicaciones.

Por ejemplo, follaje verde, recién expandido, joven, tiene contenidos de N alrededor del 3%. Si asumimos una densidad específica del follaje del maíz de 6.0 mg cm^{-2} (1 ha de follaje pesa 600 kg de materia seca), esto significa que cada índice de área foliar o cada hectárea de follaje cuesta cerca de 20 kg N ha^{-1} . Ya que el maíz tiene un índice de área foliar óptimo cerca de 4 a 5, esto significa un costo de $80\text{-}100 \text{ kg N ha}^{-1}$ para interceptar la radiación.

El contenido de N decrece casi linealmente a medida que la planta madura o acumula unidades de calor. Una plántula recién germinada tiene alrededor de 5% N en la materia seca, el cual se reduce a 2.5% para la floración. A la madurez, el grano de maíz tiene alrededor de 1.5% de N y el rastrojo alrededor de 1.0-1.2% de N. Por consiguiente, para producir 5 ton ha^{-1} de grano de maíz (contiene cerca de 75 kg N ha^{-1}) y 6 ton ha^{-1} de rastrojo (otros 72 kg N ha^{-1}) se necesita esa cantidad de N. Si el suelo no es capaz de mineralizar esta cantidad de N a la velocidad que la planta lo necesita, es necesario entonces aplicarlo (fertilizante químico o materia orgánica que contenga suficiente N), o no será posible sostener esa producción de materia seca. La misma lógica se puede aplicar para otros nutrientes, ejemplo, el grano de maíz contiene cerca de 0.2-0.3% de P, etc..

Desde el punto de vista de la sostenibilidad del sistema, es necesario retornar al sistema por lo menos la cantidad que se remueve como grano, rastrojo, del sistema para consumo humano o animal. Al quemar el rastrojo, la mayoría del N se volatiliza en forma gaseosa y se pierde del sistema con un costo relativamente importante.

Leguminosas de cobertura (ej., *Stizolobium deeringianum*, mucuna o frijol de terciopelo), pueden producir cerca de 10-15 ton ha⁻¹ de materia seca a lo largo de 6-8 meses en las épocas lluviosas (ej., aboneras en el Litoral Atlántico de Honduras). Usando el modelo simple para estimar la productividad y estimados razonables se puede calcular: Biom Leg = 180 días x 15 MJ m⁻² día⁻¹ (R_s) x 0.75 (%RI) x 0.7 (E) = 14 ton ha⁻¹. Esta biomasa contiene cerca de 2.5% de N para un total cercano a 300 kg N ha⁻¹. Esta cantidad de N puede sustituir el uso de fertilizantes químicos y es suficiente para sostener la productividad de un cultivo de maíz.

NOTA: Una versión preliminar de este mismo trabajo fue publicada anteriormente en pp. 215-224 de Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1991, Vol. 3, CIMMYT-PRM, Guatemala, 1992.

REFERENCIAS

Bolaños, J and G.O. Edmeades, 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in grain yield, biomass and radiation utilization. *Field Crops Res.* 31:233-252

Chapman, S.C. and G.O. Edmeades, 1996. Differences in radiation use efficiency among lines in a tropical maize population. Paper presented at 8th Australian Agronomy Conf., Univ. of S. Queensland, Toowoomba, QLD, Australia, 30 Jan-2 Feb, 1996.

Doorenbos, J. and W.O. Pruitt, 1984. Crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24*, FAO, Rome, 1984.

Gates, D., 1980. *Biophysical Ecology*. Springer-Verlag, New York.

Fischer, K.S. and A.F.E. Palmer, 1984. Tropical maize. pp. 213-248 in P.R. Goldsworthy and N.M. Fischer (Eds.), *The Physiology of Tropical Field Crops*, John Wiley and Sons, New York.

Hsiao, T.C., 1982. The soil-plant-atmosphere continuum in relation to drought and crop production. pp. 39-52 in *Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice*, IRRI, Los Baños, Philippines.

Lafitte, H.R., comunicación personal.

Lemcoff, J.H. and R.S. Loomis, 1986. Nitrogen influences on yield determination on maize. *Crop Sci.* 26:1017-1022.

Loomis, R.S. and D.J. Connor, 1992. *Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems*. Cambridge University Press, Cambridge.

Monteith, J., 1990. Steps in crop climatology, Conference paper #477, ICRISAT, Patancheru, India.

Muchow, R.C., 1989a. Comparative productivity of maize, sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment. I. Yield potential. *Field Crops Res.* 20:191-205.

Muchow, R.C., 1989b. Comparative productivity of maize, sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment. II. Effects of water deficits. *Field Crops Res.* 20:207-219.

Muchow, R.C. and R. Davis, 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. II. Radiation interception and biomass accumulation. *Field Crops Res.* 18:17-30.

Muchow, R.C., T.R. Sinclair and J.M. Bennett, 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agron J.* 82:338-343.

La Relación entre el Peso Fresco y el Peso Seco del Rastrojo de Maíz y la Etapa Fenológica del Cultivo

Marianne Bänziger¹, Gregory Edmeades¹ y Jorge Bolaños²

RESUMEN

La cantidad de materia seca producida durante varias etapas del crecimiento del maíz es una variable importante de conocerse. Sin embargo, la falta de instalaciones de secado dificulta su medición en muchos campos. Un método simple para convertir el peso fresco de un cultivo a peso seco en el campo resolviera este problema. En este estudio, se calcula la relación entre el peso fresco y seco del rastrojo de maíz a través de su desarrollo fenológico para ocho cultivares de maíz con diferentes vigores y periodos de madurez en dos localidades de México. Para todos los cultivares, el porcentaje de materia seca en el rastrojo (MS%) fue alrededor de 15% desde la siembra hasta la segunda mitad del llenado de grano, cuando aumentó rápidamente hasta la cosecha. Las diferencias entre cultivares fueron más notorias en la segunda mitad del llenado, cultivares tardíos con menos humedad que los precoces. La regresión de MS% contra el estadio de desarrollo expresado en forma relativa contra la antesis (R, días al muestreo/días a la antesis). Las ecuaciones con mejores resultados ($R^2 = 0.97 - 0.99$) fueron: Precoces: $MS\% = 12.6 + 0.94R^2 + 1.68R^4$; Tardíos: $MS\% = 16.1 - 4.00R^2 + 3.36R^4$. No hubo diferencias constantes entre VPLs o híbridos, aunque se notaron ciertas diferencias entre localidades atribuidas a diferencias en la humedad relativa. Se describe un protocolo para determinar el peso seco del rastrojo de maíz por unidad de área (ton ha^{-1}) cuando no se dispone de condiciones de secado, utilizando únicamente una báscula y una regla.

Muchas veces se necesita información sobre el peso seco del cultivo en etapas específicas de su crecimiento. Sin embargo, la falta de secadoras en muchas estaciones experimentales de los programas nacionales de investigación agrícola de la región de Centro América o en campos de agricultores dificulta la obtención de este tipo de dato. Las pocas secadoras y hornos existentes se encuentran generalmente en algunas estaciones experimentales, algunas veces lejos del lugar donde se llevan a cabo los experimentos.

Incluso cuando las instalaciones de secado se encuentran cerca, los problemas para transportar grandes cantidades de material fresco al laboratorio, la necesidad de obtener sub-muestras apropiadas y la capacidad inadecuada de las secadoras ocasionan que el investigador no obtenga la información necesaria. Por todas estas razones, sería muy útil poder convertir los pesos frescos a pesos secos en finca, utilizando la relación entre el contenido de humedad o de materia seca de la planta y su etapa de crecimiento.

En un cultivo anual y determinado como el maíz (*Zea mays* L.), la proporción de materia seca cambia a medida que el cultivo pasa por sus distintos estadios fenológicos de desarrollo. Un método conveniente para comparar maíces con distintos ciclos de desarrollo es expresar la fecha de muestreo relativa a cierto estadio fenológico estándar, por ejemplo, los días a la antesis. Utilizando esta medida, llamada estadio relativo de desarrollo fenológico (R), el cultivo alcanza $R=1.0$ en la antesis. Otros valores de R, por ejemplo, al inicio del espigamiento ($R=0.4$), a la mitad del llenado de grano ($R=1.5$), a la madurez fisiológica ($R=1.9$) y la cosecha del grano se lleva a cabo aproximadamente a $R=2.2$, cuando el porcentaje de materia seca en el grano es alrededor del 80% (o 20% de humedad).

La proporción de agua en las plantas es alta cuando éstas son jóvenes y disminuye conforme envejecen, alcanzando un nivel mínimo en la madurez. En las plantas jóvenes, el tejido foliar, que tiene un gran contenido de agua debido a sus importantes funciones de metabolismo, intercambio de gases, fotosíntesis y transporte de nutrientes y minerales, constituye la mayor parte del peso fresco. Si el contenido de agua en las hojas disminuye por debajo del 30% de su valor máximo debido a la sequía, las hojas morirán (Ludlow y Muchow, 1990; Loomis y Connor, 1992).

Conforme la planta crece, el tallo representa una mayor proporción del peso seco y la planta se vuelve más fibrosa ya que aparecen los materiales estructurales con un contenido de humedad más bajo. Aproximadamente de 10 a 14 días después de la polinización, el almidón empieza a acumularse y de manera simultánea, el agua es desplazada del grano.

¹Fisiólogos de Maíz, CIMMYT, México. ²Agrónomo/Fisiólogo de Maíz, Programa Regional de Maíz, CIMMYT, Guatemala.

Esto provoca un rápido aumento en el porcentaje de materia seca de la mazorca, del 17% durante la antesis a más de 70% a los 50 días después de la polinización aproximadamente (valor $R=1.9$). Como el peso seco de la mazorca aumenta de menos del 1% del peso seco total de la planta a aproximadamente al 50% durante este mismo tiempo, este incremento en el porcentaje de materia seca se refleja en el contenido de materia seca de toda la planta. Al mismo tiempo, las hojas se vuelven más anchas y aumenta el nivel de fibra en los tallos. Juntos, estos cambios dan como resultado un fuerte incremento en el porcentaje de materia seca de toda la planta durante el llenado de grano (o una disminución del porcentaje de humedad). El porcentaje de materia seca puede aumentar de cerca del 20 al 50% desde la antesis a la madurez fisiológica ($R=1.9$). En esta etapa, el contenido de materia seca del grano es aproximadamente 67% y el del resto de la planta alrededor de 42%. Para cuando el contenido de materia seca del grano alcance el 80% ($R=2.2$), el de la planta entera será del 65 al 70% (Daynard y Hunter, 1975; Fairley, 1980). Subsecuentemente, la planta muere y sus componentes, con la excepción del grano, pierden agua rápidamente hasta alcanzar un contenido de materia seca estable de 3 a 8% menor al del grano unas semanas después de la madurez fisiológica, cuando $R=2.5$.

En cualquier etapa del crecimiento, el ambiente puede alterar el porcentaje de materia seca en el cultivo. Por ejemplo, si la planta está sometida a una fuerte demanda evaporativa, su contenido de agua puede disminuir un 10% durante el llenado y tal vez un 15% en la etapa posterior a la floración (Loomis y Connor, 1992). La muerte prematura del cultivo provocada por la sequía o las heladas también cambia la relación entre la materia seca de la planta y la etapa de crecimiento.

El objetivo de este estudio es determinar la relación entre el peso fresco y el peso seco del rastrojo de maíz en varias etapas de desarrollo fenológico. El trabajo reporta resultados de evaluación de ocho cultivares con diferentes periodos de madurez, a través de dos localidades en la temporada de lluvias de verano en México. El estudio fue una actividad conjunta entre el CIMMYT, México y el Programa Regional de Maíz (PRM) de Centroamérica y el Caribe.

MATERIALES Y METODOS

Los experimentos se llevaron a cabo en las estaciones experimentales de Tlaltizapán (TL) y Poza

Rica (PR) en la estación de lluvias de verano (junio-octubre) de 1994. TL se localiza a 19°N, a una altitud de 940 m. Su temporada de cultivo del verano se caracteriza por valores de temperatura máxima y mínima diarios de 31°C y 17°C y una radiación de 21 MJ m⁻². Por el contrario, PR se localiza cerca del Golfo de México a 21°N y a 60 m de altitud. Su temporada de verano tiene valores promedios de temperatura máxima, mínima y de radiación de 32°C, 22°C y 22 MJ m⁻². En general, PR es más húmedo que TL, incluso durante la temporada de lluvias. El suelo en PR es franco arenoso (Troplofluent) y el de TL es arcilloso calcáreo (Isothermic Udic Pellustert).

Se sembraron ocho cultivares de maíz: cuatro variedades de polinización libre (VPLs) y cuatro híbridos cruza simple (Cuadro 1), en un diseño de láctice 2x4 (0,1) con tres repeticiones en ambas localidades. Los cultivares representaban diferentes vigores y periodos de madurez típicos de ambientes tropicales en Centro América (VPLs contra híbridos). Las parcelas eran de cinco surcos con una separación de 0.75 m y una longitud de 10.5 m con una densidad de 5.3 plantas m⁻². Al cultivo se le mantuvo libre de malezas, insectos y enfermedades.

Mediciones

En siete ocasiones se hicieron colectas de 9 plantas (1.7 m²) de los tres surcos centrales de cada parcela (aproximadamente a los 26-40 días después de la siembra; 1 día después del 50% de la antesis, 70, 85 y 90 días después de la siembra y en la madurez fisiológica. En cada colecta, las plantas fueron cortadas a nivel del suelo aproximadamente a las 10 AM y se les llevó a un laboratorio de campo para determinar el peso fresco. El tiempo que transcurrió entre cortar la planta y pesarla fue de menos de 10 minutos. En caso de estar las hojas mojadas por la lluvia, la colecta se posponía hasta que las hojas se hubieran secado. Las plantas de cada parcela se cortaron en pedazos pequeños y se secaron a 80°C en un horno durante cinco días y después se pesaron. Para las primeras cuatro colectas no se separó ninguna parte de las plantas por lo que el peso del rastrojo de estas recolectas fue el equivalente al peso total de la planta (sin incluir raíces). En las recolectas realizadas 85 y 99 días después de la antesis, solamente se pesó el rastrojo fresco sin incluir la mazorca (tallos, hojas, espigas y brácteas). Las mazorcas fueron secadas, desgranadas y pesadas para calcular el rendimiento de grano durante la colecta. En la madurez fisiológica, se colectaron 18 plantas (3.4m²), y se tomó el peso fresco total del

rastrojo y las mazorcas. Cada una de las partes se secó por separado y se calculó el rendimiento del grano.

Se registraron los días que transcurrieron desde la siembra hasta el 50% de la antesis de 38 plantas útiles en cada parcela. Las fechas de colecta para determinación de pesos frescos y secos se expresaron en unidades R (i.e., [días transcurridos desde la siembra hasta el muestreo]/(días transcurridos desde la siembra hasta el 50% de la antesis)), para confirmar que las comparaciones se hicieran entre cultivares y localidades con una etapa de desarrollo similar. El contenido de materia seca del grano en la madurez también se determinó pesando y secando una muestra de grano de 5 mazorcas localizadas en los surcos bordos de cada parcela durante la última colecta. El rendimiento de grano se determinó por medio de una muestra de 24 plantas por parcela.

Análisis de los datos

El porcentaje de materia seca del rastrojo (MS%) se expresó como $[100 \cdot \text{peso seco} / \text{peso fresco}]$ y se realizó análisis de regresión entre MS% contra R para cada parcela, usándose una regresión polinomial de la cuarta potencia, resultando $MS\% = a + bR^2 + cR^4$ ($R^2 = 0.97-0.99$) la mejor ecuación. Los coeficientes de regresión (a, b, c) de cada parcela fueron sometidos a un análisis combinado de varianza utilizando un modelo fijo. Del mismo modo, se utilizaron valores promedios de los coeficientes para comparar la respuesta de MS% a R para los cultivares y lugares.

RESULTADOS Y DISCUSION

Diferencias entre cultivares

Una unidad de R para todo el ensayo fue, en promedio, de 56.6 días. Los rendimientos del grano obtenidos (expresados a cero humedad) fueron normales para estas localidades (Cuadro 1). La evolución del contenido de materia seca del rastrojo de cada cultivar se resume en el Cuadro 2 y reflejan las diferencias (de hasta 14 días) en la fecha al 50% antesis de las distintas entradas. Los coeficientes de regresión que se presentan son promedios de 6 parcelas (2 localidades x 3 repeticiones). Las regresiones se usaron para predecir los valores de MS% para distintas etapas de R, valores que se presentan en el Cuadro 2. Todos los cultivares mostraron el mismo MS% durante las etapas tempranas del desarrollo, notándose diferencias hasta más o menos el 70% del llenado de grano,

cuando $R > 1.67$. Las diferencias entre los cultivares a $R = 2.0$ (una semana después de la madurez fisiológica) fueron muy notorias, variando del 40.7% (Selección Precoz C₁₆) al 60.5% (La Posta Sequía C₃), aunque no se detectaron diferencias notorias entre híbridos y VPLs en el DM% esperado. Hubo una tendencia de los cultivares de madurez precoz (Selección Precoz C₆ y C₁₆) a contener más agua que los cultivares de madurez tardía en las etapas de $R = 1.67$ hacia arriba. Este hecho podría deberse a que los cultivares de madurez tardía estaban madurando cuando las lluvias estaban a punto de terminar y la humedad relativa del aire iba en descenso, mientras que los dos cultivares precoces completaron el llenado cuando todavía había lluvias abundantes, a una mayor humedad relativa del ambiente. Las VPLs tardías también mostraron una tendencia a tener mayor MS% hacia el final del llenado que los híbridos, tal vez reflejando su periodo de llenado más corto (Bolaños, 1995) y senescencia más rápida.

Diferencias en las localidades

El análisis de varianza de los coeficientes de regresión y los valores predichos de MS% (Cuadro 2) muestra que TL difería de PR en que las plantas tenían menor MS% desde la antesis hasta la mitad del llenado y mayor MS% en cualquier otro periodo fuera de este intervalo. Es probable que esto refleje las diferencias del tiempo que se tomó entre cortar las plantas y calcular los pesos frescos. Es evidente que el intervalo entre el corte de las plantas y el pesarlas debe ser corto pero razonable, ya que las plantas pierden agua a través de las hojas a un paso acelerado, especialmente cuando se encuentran expuestas al sol.

La importante interacción cultivar x localidad para los coeficientes de regresión *b* y *c* (Cuadro 2) puede explicarse con las diferencias entre los patrones de humedad relativa en las dos localidades, lo que afectó de distintas maneras a cultivares de diferente periodos de madurez. Fue muy afortunado que este ensayo se realizara en dos localidades para que esos ambientes, típicos de las localidades más húmedas (PR) y más secas (TL) de Centro América, quedaran debidamente representados.

Conocer el contenido total de materia seca (MST%) también es necesario si un investigador necesita calcular la biomasa total durante la segunda mitad del llenado de grano, cuando el contenido de materia seca del grano es significativamente mayor que el del resto de la planta (Daynard y Hunter, 1975).

Cuadro 1. Características de ocho cultivares de maíz (cuatro variedades de polinización libre [VPLs] y cuatro híbridos cruza simple [Hibr CS]) durante 1994 en Tlaltizapan y Poza Rica, México. El rendimiento de grano es a cero humedad (secado en horno a 80 °C), el %MS en grano es a la cosecha.

Cultivar	Vigor	Ciclo	Días a antesis	Tipo de grano	Rend gr t/ha	%MS grano
Selección Precoz C ₆	VPL	precoz	50	AmCr	4.46	85.1
Selección Precoz C ₁₆	VPL	ex-precoz	47	AmCr	3.93	86.1
La Posta Sequía C ₃	VPL	tardío	58	BIDn	5.11	79.8
TS6 C ₁ (PITS) F ₂	VPL	tardío	59	BIDn	5.31	79.7
CML20 x CML27	Hibr CS	tardío	60	AmCr	5.68	78.5
CML27 x CML52	Hibr CS	tardío	60	AmCr	5.83	78.0
CML8 x CML9	Hibr CS	tardío	61	BIDn	5.12	73.4
CML8 x CML22	Hibr CS	tardío	58	BIDn	6.21	74.0

AmCr = amarillo cristalino; BIDn = blanco dentado

Cuadro 2. Coeficientes de regresión de la relación entre el porcentaje de materia seca (%MS) del rastrojo y del estadio relativo de desarrollo fenológico (R), definido este como R= dds al muestro/ dds a antesis, y los valores predichos del porcentaje de materia seca (%MS) en función del estadio relativo de desarrollo (R), para ocho cultivares de maíz a través de dos localidades en México, 1995. La función usada es del tipo $\%MS=a+bR^2+cR^4$.

	Coeficientes de regresión			Estadio relativo de desarrollo fenológico					
	a	b	c	0.5	1.0	1.3	1.7	2.0	2.3
	Porcentaje de materia seca en rastrojo (predicho)								
Sel. Precoz C ₆	13.5	-0.65	2.17	13.5	15.0	19.2	28.4	45.6	74.3
Sel. Precoz C ₁₆	11.7	2.53	1.18	12.4	15.4	19.9	27.9	40.7	60.5
La Posta C ₃	16.2	-5.01	4.02	15.2	15.2	20.0	33.3	60.5	>100.0
TS6 C ₁ (PITS)	16.8	-6.34	4.19	15.4	14.6	18.7	31.5	58.4	>100.0
CML20 x CML27	15.6	-5.11	3.91	14.5	14.4	18.8	31.5	57.7	>100.0
CML27 x CML52	16.3	-3.05	2.92	15.7	16.1	20.1	30.3	50.8	86.2
CML8 x CML9	15.7	-2.87	2.75	15.2	15.6	19.3	29.0	48.2	81.6
CML8 x CML22	15.9	-1.61	2.37	15.6	16.6	20.5	29.7	47.3	77.3
Media cultivares	15.8	-2.24	2.56	15.4	16.1	19.9	29.3	47.8	79.5
DMS (0.05)	1.94	2.25	0.63						
P (cultivar)	***	***	***						
Tlaltizapán	17.2	-7.08	3.95	15.7	14.1	17.1	28.0	52.1	95.8
Poza Rica	13.2	1.55	1.93	13.7	16.7	22.0	32.4	50.3	78.8
Media de locs	15.2	-2.76	2.94	14.7	15.4	19.6	30.2	51.2	87.3
P (Loc)	***	***	***						
P (cultivar x loc)	+	***	***						

+, *** se refieren a $P<0.10$ y $P<0.001$, respectivamente

Cuadro 3. Valores que añadir a los valores predichos de %MS cuando se incluye la mazorca en el estimado.

Estadio relativo de desarrollo fenológico	Valor que añadir a %MS
1.2	0
1.3	1
1.4	2
1.5	3
1.6	4
1.7	5
1.8	6
1.9	7
2.0	6
2.1	6
2.2	6
2.3	5
2.4	5
2.5	4

El cuidadoso examen de la relación humedad/peso seco de toda la planta y el grano presentado por Daynard y Hunter (1975) y del peso seco contra R (calculado con las curvas de crecimiento presentadas por Edmeades, 1972) dió como resultado una tabla de valores porcentuales de la materia seca para sumarlos a los valores esperados de MS% para obtener el MST% (Cuadro 3).

Es así que se calcula que MS% a R=2 sea del 48%. Para obtener el MST% en esta etapa, se suma el valor correspondiente del Cuadro 3 (6%) para que resulte un MST% de 54%. Este valor concuerda con los publicados por Daynard y Hunter (1975).

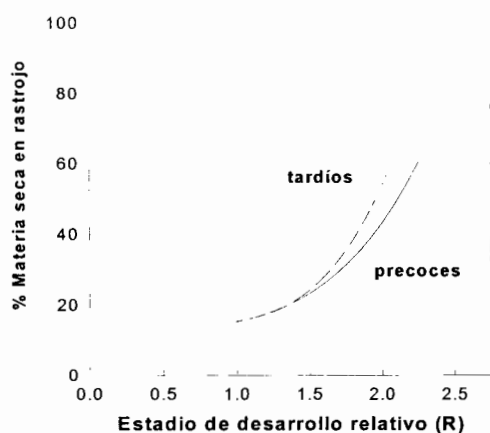


Fig. 1. Relación entre el porcentaje de materia seca en el rastrojo (%MS) y el estadio relativo de desarrollo fenológico para cultivares precoces y tardíos de maíz.

CONCLUSIONES

1. El MS% del rastrojo de maíz permanece en el rango del 15-20% desde la siembra hasta después de la tercera parte del llenado de grano. Estos valores son muy constantes en todos los genotipos y localidades, y se pueden utilizar, con toda seguridad, para convertir los pesos frescos del rastrojo de maíz a pesos secos en estudios donde no se cuenta con facilidades de secado.

2. La relación entre el peso fresco y el peso seco del rastrojo varía más al final del llenado de grano para los distintos cultivares. Esto sugiere que la mejor predicción del MS% se obtiene por medio de las regresiones combinadas por madurez. Estas se presentan en la Fig. 1:

$$\begin{aligned} \text{MS\%} &= 12.6 + 0.94R^2 + 1.68R^4 && \text{precoces} \\ \text{MS\%} &= 16.1 - 4.00R^2 + 3.36R^4 && \text{tardíos} \end{aligned}$$

Se debe prestar mucha atención durante muestreos después de R=2.0, ya que existe un relativamente alto grado de error relacionado con MS% en esta etapa. La probabilidad de error es igualmente alta si las plantas están muy afectadas por la sequía u otros estreses, especialmente al final del ciclo del cultivo.

3. Se propone el siguiente protocolo para campo:

- Seleccionar aleatoriamente varias (6-8) áreas representativas en el campo para muestreo;
- Identificar, marcar y medir las dimensiones del área en unidades de m² (Area).
- Cortar las plantas dentro de cada área, juntarlas en un hato y cuando hayan pasado 10 minutos después del corte, determinar el peso fresco en kg con una báscula de campo. Registrar el peso y la fecha.
- Registrar los días desde la siembra a la antesis (DA) y a la fecha de muestreo (DM), y calcular R como R=DM/DA.
- Calcular MS% con la ecuación apropiada según la madurez del genotipo (precoz vs tardío). En caso de necesitar el MST%, sumar al valor calculado de MS% la corrección apropiada según la etapa de desarrollo del Cuadro 3.
- Convertir el peso fresco (PF) a peso seco de rastrojo (PS; kg) así: PS=PF*MS%. Para obtener el peso seco total, incluyendo las mazorcas, convertir el peso fresco total (PFT) a peso seco total (PST; kg) así: PST=PFT*MST%. Calcular materia seca por unidad de área (ton ha⁻¹) de la siguiente manera, PS*10/Area.

- Promediar la producción de peso seco de cada una de las 6-8 sub-muestras para obtener una muestra representativa de todo el campo.

REFERENCIAS

- Bolaños, J. 1995. Physiological bases for yield differences in selected maize cultivars from Central America. *Field Crops Res.* 42:69-80.
- Daynard, T.B., and R.B. Hunter. 1975. Relationships among whole-plant moisture, grain moisture, dry matter yield, and quality of whole-plant corn silage. *Can. J. Plant Sci.* 55:77-84.
- Edmeades, G.O. 1972. Maize in the Manawatu: A field study of the effects of spacing and variety upon the growth of Zea mays L. M.Agric. Sci. Thesis, Massey University, New Zealand, 123 pp.
- Fairey, N.A. 1980. The effects of hybrid maturity, date of planting, and date of harvesting on growth and development of forage maize. *Can. J. Plant Sci.* 60:1367-1375.
- Loomis, R.S., and D.J. Connor. 1992. *Crop Ecology: Productivity and Management of Agricultural Systems.* Cambridge University Press, UK, 538 pp.
- Ludlow, M.M. and Muchow, R.C., 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv. Agron.*, 43:107-153.

Calibración en Suelos Tropicales de un Medidor de Humedad por Reflectometría

Ricardo Radulovich¹, Edwin Solórzano¹ y Jorge Bolaños²

RESUMEN

La medición de la humedad del suelo es fundamental para una serie de aplicaciones, lo cual debe realizarse con prontitud para actuar en base a los resultados. Este trabajo reporta la calibración empírica en suelos tropicales del método de medición de humedad por reflectometría por dominio temporal (conocida en inglés como time-domain reflectometry, o TDR), comparando los resultados contra valores de humedad volumétrica obtenidos por muestreo gravimétrico. Se realizaron mediciones en cuatro suelos de Costa Rica, dos Andisoles, un Alfisol y un Inceptisol, todos ellos de la zona con marcada sequía estacional. Los valores de humedad volumétrica brindados por el TDR fueron de mucha precisión y su exactitud en reflejar la humedad volumétrica obtenida por muestreo gravimétrico se demostró por valores de correlación de Pearson altamente significativos, entre 0.90 y 0.95 para los cuatro suelos, y entre 0.84 y 0.99 para las tres profundidades medidas en cada suelo. Sin embargo, las pendientes de la relación lineal (tipo $y = mx + b$) fluctuaron entre 0.73 y 1.29 entre los cuatro suelos y, además, substancialmente para las tres profundidades dentro de cada suelo. Esto indica la necesidad de obtener una curva de calibración no solo para cada suelo sino para cada profundidad en la que se utiliza el aparato. Tras estas consideraciones y otras mencionadas en el texto, el método del TDR es confiable para ser utilizado en los suelos que predominan en la región con sequía estacional de Centroamérica.

La humedad del suelo es un parámetro fundamental para conocer o estimar los efectos del déficit hídrico en el desarrollo de los cultivos y, entre otras aplicaciones, permite determinar la necesidad de riego de acuerdo a niveles de consumo que se establezcan. El método estándar o de referencia para determinar la humedad del suelo es el muestreo gravimétrico, con valores que se convierten a humedad volumétrica mediante la densidad aparente. Este método, que es manual y laborioso, además de ser destructivo y conllevar valores de variabilidad a menudo altos, tiene la desventaja que no brinda resultados sino hasta que la muestra es llevada al

laboratorio, pesada, secada por 48 hr y vuelta a pesar. En vista de que las decisiones en función del agua a menudo requieren de prontitud, esta limitación de tiempo resta aplicabilidad al método. Es por ello que se realizan esfuerzos para diseñar aparatos que eliminen o disminuyan dichas limitaciones, permitiendo tomar mediciones confiables e instantáneas en el campo mismo.

El método de reflectometría por dominio temporal (conocido en inglés como "time-domain reflectometry" o TDR), fue propuesto en 1975 por Davis y por Davis y Chudobiak para su uso en suelos y ha sido desarrollado formalmente desde Topp y otros (1980), utilizándose cada vez con mayor aceptación por su confiabilidad y facilidad de uso (Gardner y otros, 1991). El método consiste en la medición de la constante dieléctrica del suelo, la cual está dominada principalmente por el contenido de agua. Mediante el uso de dos varillas de acero que se entierran, se propaga una señal eléctrica a través del suelo y el intervalo de tiempo de la velocidad de propagación es un indicador directo del contenido volumétrico de agua en el suelo (Topp y Davis, 1985). Entre las ventajas del método es que el aparato de TDR es portátil y brinda medidas directamente en el campo, las cuales son almacenables en memoria. La principal desventaja es el alto precio del aparato que se comercializa.

El método de TDR no ha sido probado aún extensamente en suelos tropicales, lo cual es necesario de realizar antes de proceder a su uso en experimentación de campo. Este trabajo reporta sobre dicha calibración contra muestreo gravimétrico, con fines de validar el uso del método en diversos suelos tropicales.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo fue realizado en Costa Rica, durante los meses de enero a abril de 1996. Se utilizaron cuatro suelos agrícolas en el régimen climático del Pacífico, que tiene marcada sequía estacional. Todo el trabajo se realizó directamente en el campo, alterando los contenidos de humedad del suelo mediante riego en diversas fechas, midiendo en todas las instancias por lo

¹ Profesores, Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica y ² Agrónomo Regional de CIMMYT para Centro América y El Caribe.

menos 48 hr después de cada riego. Los suelos utilizados, junto con su clasificación tentativa y algunas características físicas se describen en el Cuadro 1. Se aprecia que tres de los suelos son arcillosos y uno franco arenoso. Esto, junto con el hecho de que se muestrearon tres órdenes, permite considerar que los resultados son extrapolables a un amplio rango de suelos tropicales.

El diseño experimental seguido consistió en tomar pares de muestras consistentes de:

Una medición con un aparato de TDR (Trase System I, Soil Moisture Corporation) a las profundidades determinadas por el largo de las varillas de acero, que son de 15, 30 y 45 cm de largo, lo cual da mediciones de humedad volumétrica de 0 a 15, 0 a 30 y 0 a 45 cm de profundidad del suelo. Cada medición o muestra con el TDR consistió de cinco lecturas para cada profundidad, tomadas dejando un intervalo de doce segundos entre cada medición. El valor de cinco lecturas se adoptó debido a que la gran precisión del aparato hizo innecesario utilizar un mayor número de submuestras. Esta precisión se refleja en valores de coeficiente de variación para grupos de cinco lecturas que fluctúan entre 0.16 y 2.68 %, con un promedio de 0.88 %.

Una muestra de humedad gravimétrica tomada para las profundidades de 0 a 15, 15 a 30 y 30 a 45 cm. Cada muestra consistió de dos submuestras para cada medición del TDR, tomadas en un radio de 5 cm de las varillas. Las muestras gravimétricas fueron llevadas al laboratorio, pesadas con precisión de 0.01 g, secadas por

48 hr a 105 C, y vueltas a pesar, tras lo cual los valores de humedad gravimétrica fueron convertidos a humedad volumétrica utilizando valores de densidad aparente medidos para cada profundidad.

Un aspecto del trabajo consistió en evaluar la factibilidad de utilizar el aparato de TDR dejando varillas enterradas permanentemente en el campo, en vez de enterrarlas cada vez que se utilizan. Para ello, se calibraron en los dos Andisoles varillas de acero hechas en Guatemala contra las originales del aparato, para lo cual se obtuvieron los resultados mostrados en el Cuadro 2, que expresan una validez totalmente aceptable de las varillas locales contra las originales, en correlaciones altamente significativas que son prácticamente de una a una.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las correlaciones entre los valores de humedad volumétrica por muestreo gravimétrico y aquellos que brinda el aparato de TDR fueron extremadamente altas y significativas para los cuatro suelos y las tres profundidades en cada uno de ellos, según se muestra en el Cuadro 3. La relación lineal ($y = mx + b$) fue escogida por brindar consistentemente los valores más altos de correlación; sin embargo, en aproximadamente 40% de los casos la relación exponencial brindó valores de r ligeramente superiores a la relación lineal.

Cuadro 1. Características básicas de los suelos empleados, en Costa Rica. Los valores mostrados están promediados para los primeros 45 cm.

Localidad	Orden	Gran Grupo*	%A - %L - %a	Clasif. Textural	Dens. Aparente
Tres Ríos	Andisol	Haplustand	58.8 - 21.5 - 19.7	Arcilla	1.01 Mg m ⁻³
Guadalupe	Andisol	Haplustand	10.0 - 29.6 - 60.4	Franco arenoso	0.87 Mg m ⁻³
Orotina	Alfisol	Haplustalf	52.5 - 24.6 - 22.9	Arcilla	1.04 Mg m ⁻³
Liberia	Inceptisol	Ustropept	44.7 - 34.7 - 20.6	Arcilla	1.23 Mg m ⁻³

*Clasificación tentativa, de acuerdo a Soil Survey Staff (1992).

Cuadro 2. Valores de la correlación entre varillas de acero originales (x) contra varillas de acero manufacturadas en Guatemala (y), según valores de humedad volumétrica brindados por el aparato de TDR.

0 a 15 cm:	$y = 0.96x + 1.03$	$r = 0.95^{**}$	$r^2 = 90.1\%$	$n = 31$
0 a 30 cm:	$y = 1.05x - 0.38$	$r = 0.97^{**}$	$r^2 = 94.0\%$	$n = 19$
0 a 45 cm:	$y = 1.04x - 0.25$	$r = 0.94^{**}$	$r^2 = 88.5\%$	$n = 13$
Todos:	$y = 0.97x + 0.99$	$r = 0.95^{**}$	$r^2 = 91.1\%$	$n = 63$

** Significativo al 99%.

Cuadro 3. Valores de correlación entre porcentaje de humedad volumétrica por muestreo gravimétrico (x) y porcentaje de humedad volumétrica medida por el aparato de TDR (y)..

Haplustand - Tres Ríos				
0 a 15 cm:	$y = 0.92x + 1.26$	$r = 0.97^{**}$	$r^2 = 93.8\%$	n = 31
0 a 30 cm:	$y = 0.69x + 5.53$	$r = 0.90^{**}$	$r^2 = 80.7\%$	n = 31
0 a 45 cm:	$y = 0.82x + 5.56$	$r = 0.84^{**}$	$r^2 = 70.8\%$	n = 31
Todos:	$y = 0.73x + 4.46$	$r = 0.90^{**}$	$r^2 = 80.6\%$	n = 63
Haplustand - Guadalupe				
0 a 15 cm:	$y = 1.00x - 0.30$	$r = 0.99^{**}$	$r^2 = 97.3\%$	n = 12
0 a 30 cm:	$y = 0.70x + 4.75$	$r = 0.99^{**}$	$r^2 = 98.6\%$	n = 12
0 a 45 cm:	$y = 0.64x + 6.09$	$r = 0.98^{**}$	$r^2 = 96.9\%$	n = 12
Todos:	$y = 0.76x + 3.88$	$r = 0.95^{**}$	$r^2 = 90.8\%$	n = 36
Haplustalf - Orotina				
0 a 15 cm:	$y = 1.37x - 5.39$	$r = 0.96^{**}$	$r^2 = 91.7\%$	n = 17
0 a 30 cm:	$y = 1.23x - 1.46$	$r = 0.94^{**}$	$r^2 = 87.8\%$	n = 12
0 a 45 cm:	$y = 1.26x - 3.97$	$r = 0.95^{**}$	$r^2 = 89.7\%$	n = 12
Todos:	$y = 1.29x - 3.60$	$r = 0.94^{**}$	$r^2 = 89.2\%$	n = 41
Ustropept - Liberia				
0 a 15 cm:	$y = 0.83x + 4.32$	$r = 0.99^{**}$	$r^2 = 97.3\%$	n = 7
0 a 30 cm:	$y = 0.75x + 7.33$	$r = 0.92^{**}$	$r^2 = 84.5\%$	n = 7
0 a 45 cm:	$y = 0.84x + 5.28$	$r = 0.90^{**}$	$r^2 = 80.8\%$	n = 7
Todos:	$y = 0.83x + 5.05$	$r = 0.94^{**}$	$r^2 = 88.9\%$	n = 21

**Significativo al 99%.

De acuerdo a las pendientes para tres de los suelos, que fueron inferiores a 1.00 excepto un caso, el aparato de TDR subestimó el contenido de humedad volumétrica (Cuadro 3). Sin embargo, esta tendencia se revertió para el suelo Haplustalf de Orotina, en el cual el aparato sobrestimó el contenido de humedad volumétrica, con pendientes mayores a 1.00; también en este suelo se dieron interceptos negativos. Hook y Livingston (1996) han notado la necesidad de considerar diferentes pendientes e interceptos en diversos suelos, e incluso atribuyen algunas diferencias en mediciones a contenidos de agua inmovilizada en suelos arcillosos. Interesantemente, los valores medidos de 0 a 15 cm de profundidad dieron consistentemente altas correlaciones para los cuatro suelos, lo cual puede ser el producto de una mayor homogeneidad de la capa de suelo bajo medición (Cuadro 3).

Las grandes diferencias en las ecuaciones del Cuadro 3, que son considerables en pendientes tanto entre suelos (hasta un 50% de variación) como dentro de cada suelo (incluso >30% de variación), indican la necesidad de realizar una calibración del aparato no solo para cada suelo sino también para cada profundidad con la que se trabaja. De no realizarse dichas calibraciones, se podrá incurrir en discrepancias entre suelos de más del 50% y

dentro de cada suelo de hasta más del 30%, según las diferencias en pendientes notadas en el Cuadro 3. Estas grandes diferencias, aparte de sugerir interesantes características para los suelos utilizados, no ameritaron mayores estudios en vista de que se dieron también dentro de cada suelo y, sobre todo, considerando que para todos los casos las mediciones del aparato de TDR correlacionaron excelentemente con las de medición por muestreo gravimétrico

Respecto a la factibilidad de utilizar varillas enterradas permanentemente en vez de enterrarlas para cada medición, se determinó que es preferible enterrarlas para cada medición ya que las varillas enterradas permanentemente pueden introducir errores en la medición al separarse del suelo, lo cual puede ocurrir tanto por manipulación como por procesos de encogimiento del mismo. Los grandes errores introducidos en la medición por dichas separaciones entre varillas y suelo han sido notados por Whalley (1993) y por Gregory y otros (1995).

En conclusión, el método del TDR es preciso y exacto para las condiciones y suelos estudiados, y se recomienda su uso en experimentación de campo. Para ello, deberá realizarse una calibración para cada suelo y

profundidad y, preferiblemente, las varillas de acero deberán enterrarse para cada medición en vez de ser dejadas enterradas permanentemente en el campo.

REFERENCIAS

Davis, J.L. 1975. Relative permittivity measurements of a sand and clay soil in situ. Geological Survey, Canada, Ottawa, Paper 75-1C, 361-365 (Report of Activities).

Davis, J.L. y W.J. Chudobiak. 1975. In situ meter for measuring relative permittivity of soils. Geological Survey, Canada, Ottawa, Paper 75-1A, 75-79 (Report of Activities).

Gardner, C.M.K., J.P. Bell, J.D. Cooper, T.J. Dean y M.G. Hodnett. 1991. Soil water content. En: C.E. Mullins y K.A. Smith (Eds.), Soil Analysis: Physical Methods, pp. 1-73. Marcel Dekker, New York.

Gregory, P.J., R. Poss, J. Eastham y S. Micin. 1995. Use of time domain reflectometry (TDR) to measure the water content of sandy soils. Australian Journal of Soil Research, 33:265-276.

Hook, W.R. y N.J. Livingston. 1996. Erros in converting time domain reflectometry measurements of propagation velocity to estimates of soil water content. Soil Science Society of America Journal, 59:35-41.

Soil Survey Staff. 1992. Keys to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph No. 19, Fifth Edition. Pocahontas Press, Inc., Blacksburg, Virginia.

Topp, G.C., Davis, J.L. y A.P. Annan. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. Water Resources Research, 16:574-582.

Topp, G.C. y J.L. Davis. 1985. Time-domain reflectometry (TDR) and its application to irrigation scheduling. Advances in Irrigation Science, 3:107-127.

Whalley, W.R. 1993. Considerations on the use of time-domain reflectometry (TDR) for measuring soil water content. Journal of Soil Science, 44:1-9.

Primera Feria de la Labranza de Conservación en Guaymango, El Salvador

Cristina Choto, Tito Montenegro¹ y Gustavo Sain²

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados de la Primera Feria de la Labranza de Conservación realizada en Guaymango, El Salvador. Los agricultores del área adoptaron las prácticas de la no-quema y el uso del rastrojo de los ciclos anteriores como mantillo superficial para proteger el suelo, además de la adopción de híbridos de alto potencial de rendimiento y modestos niveles de fertilización química. Este sitio ha sido visitado por muchos técnicos, extensionistas, agricultores, y ha servido de punto focal para la promoción de estas tecnologías sostenibles a nivel nacional, regional e internacional.

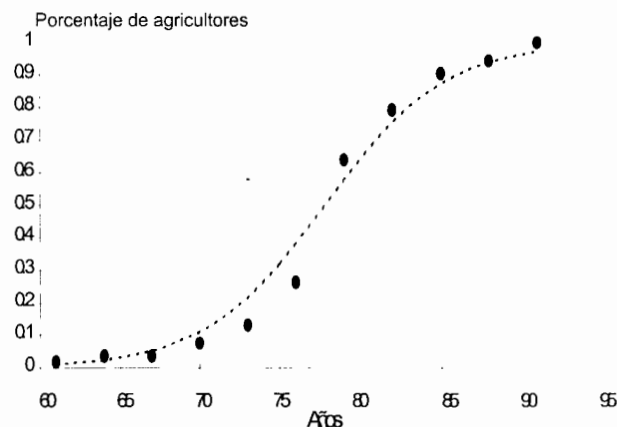
La historia de la adopción y difusión de la labranza de conservación comienza a inicios de la década los 70's con la creación de la Agencia de Extensión Agropecuaria (AEA) de Guaymango. Este caso ha sido bien documentado (Calderón, 1973; Mendoza et al., 1991; Calderón et al., 1991; Sain y Barreto, 1995) y es ampliamente conocida. En 1973 la AEA, en colaboración con otras instituciones que trabajaban en el área, puso en marcha un ambicioso programa destinado a mejorar la productividad del sistema de cultivo maíz - sorgo prevaeciente entre los agricultores de la región. El programa creó y promovió grupos de agricultores, estableció un sistema de incentivos y difundió un paquete tecnológico destinado a incrementar la productividad del sistema y a conservar el suelo mediante el manejo de los residuos en la época seca (Calderón et al., 1991).

A comienzos de los años 80 el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA), en colaboración con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), comenzó a trabajar en campos de agricultores en Guaymango en temas considerados como prioritarios: Generar y difundir nuevos híbridos, mejorar la eficiencia de la fertilización con N y P, mejorar el control de malezas y pestes. Posteriormente el énfasis de la investigación cambió hacia la

introducción de leguminosas en el sistema e investigar la interacción entre el mantillo y N.

Los impactos más sobresalientes de este esfuerzo conjunto de varias instituciones públicas y privadas trabajando con los agricultores fueron el incremento de la productividad del sistema agrícola y la adopción masiva de la labranza de conservación (manejo de los residuos). Por ejemplo, en el caso del maíz los rendimientos aumentaron en 235% en un período de 15 años, mientras que los de sorgo aumentaron en un 200% en el mismo periodo. El patrón de difusión de la labranza de conservación en Guaymango se muestra en la Fig. 1. La adopción masiva de la labranza de conservación durante los años 70 y 80 permitió que, con el correr del tiempo, los agricultores "vieran" el efecto sobre la mejora en la calidad de los suelos, creándose una conciencia colectiva sobre la importancia de los residuos en el cuidado del suelo.

Guaymango es un tesoro para la investigación, no solo por su valor demostrativo, en lo que la labranza de conservación puede hacer para mantener la productividad del suelo bajo un sistema de cultivo intenso sino que permite la coexistencia con respeto al sistema de finca a través de un pastoreo cuidadoso de los residuos y de la protección del suelo (Choto y Sain, 1993). Desde los 1980's, días de campo en el área se han realizado continuamente.



Fuente: Choto, Sain y Montenegro, 1995

Figura 1. Difusión de la labranza de conservación en Guaymango, El Salvador.

¹ Investigadores de la Unidad de Socioeconomía del CENTA, El Salvador y ² Economista Regional para Centro América y El Caribe del CIMMYT, Costa Rica

En estos eventos, los agricultores de otras áreas del país tienen la oportunidad de observar el manejo que los agricultores de Guaymango dan a los residuos del sistema maíz - sorgo y escuchar de los propios labios de los agricultores sus experiencias con la tecnología de conservación.

Dado que en los días de campo la participación de la comunidad se limita a los sitios que se visitan, nació la necesidad de organizar un evento que involucraría más ampliamente a la comunidad de Guaymango, y que al mismo tiempo sirviera a la difusión de la práctica de conservación del suelo mediante el buen manejo de los residuos. De esta manera, el CENTA en colaboración con el CIMMYT y el PRM, con el auspicio financiero de la Fundación Ford y de la Cooperación Suiza al Desarrollo (COSUDE), decidieron organizar la Primera Feria de la Labranza de Conservación en Guaymango. La Feria se realizó el 7 de abril de 1995, a más de 20 años del comienzo del programa de conservación y productividad.

La Feria perseguía los siguientes objetivos específicos:

1. Dar a conocer los logros obtenidos en la conservación de los recursos naturales mediante el buen uso del rastrojo, a otros agricultores y a un amplio espectro de instituciones gubernamentales, no gubernamentales, empresas privadas, y otras.
2. Permitir que entidades públicas y privadas nacionales, regionales e internacionales mostraran sus avances tecnológicos aplicados a la conservación de los recursos suelo y agua.

3. Involucrar e incentivar a la comunidad de Guaymango, pionera de esta práctica, para que continúe con la realización de la misma.

ORGANIZACION

La organización de la Feria estuvo a cargo de un comité integrado por miembros de las tres instituciones organizadoras: CENTA (Centros de Desarrollo Tecnológico (CDT) de Izalco y San Andrés), PRM y CIMMYT.

Dado que el evento estuvo dirigido a que los participantes conozcan las nuevas prácticas de producción y conservación de los recursos, el comité dispuso organizar la Feria tomando un conjunto de exhibiciones como centro. En las mismas las instituciones participantes montaron sus exposiciones y realizaron demostraciones de sus productos para que los participantes pudieran llegar a observar y preguntar sobre los temas que les interesasen.

Fueron invitadas las instituciones públicas, privadas y ONGs que trabajan tanto dentro del ámbito nacional como regional (Cuadro 1). El Cuadro 2 muestra la lista de instituciones invitadas. Para la difusión masiva de la Feria, la comisión publicó en los medios de difusión escritos una invitación abierta a concurrir al evento. Además, se publicó una serie de artículos explicando los objetivos y alcances de la Feria. Por otra parte, algunos comerciantes de Guaymango pagaron publicidad en los medios masivos de comunicación invitando a las comunidades a asistir a la Feria.

Cuadro 1. Lista de instituciones y proyectos invitadas a la Primera Feria de la Labranza de Conservación. Guaymango, 7 de abril de 1995.

Institución o Proyecto	País	Institución o Proyecto	País
IICA	Costa Rica	PRIAG	Costa Rica
Proyecto IICA-GTZ	Costa Rica	IDIAP	Panamá
ICTA	Guatemala	Proyecto Madeleña III	El Salvador
CIAT/ Proyecto Laderas	Honduras	Misión China	El Salvador
PROFRIJOL	Guatemala	Intercooperación/PASOLAC	Nicaragua
INTA	Nicaragua	FAO	El Salvador
COSUDE	Honduras	FIDA	El Salvador
PROCHALATE	El Salvador	PROMESA	El Salvador
INTA-FINNIDA/PRODETEC	Nicaragua	Sector Privado	El Salvador
IFPRI	Honduras	IICA	El Salvador
COSUDE/FOMENTA	El Salvador	CATIE	El Salvador
ONGs	El Salvador	Universidades	El Salvador

Cuadro 2. Instituciones y proyectos con stands en la Primera Feria de la Labranza de Conservación. Guaymango, 7 de abril de 1995.

Institución/Proyecto	País
Misión China	El Salvador
Proyecto Género	El Salvador
Granos Básicos (CENTA)	El Salvador
Pecuario (CENTA)	El Salvador
MIP (CENTA-GTZ)	El Salvador
Rec. Nat. CENTA CATIE	El Salvador
GYTT (CENTA)	El Salvador
EAP "El Zamorano"	Honduras
INTA-FINNIDA/PRODETEC	Nicaragua
Moore	El Salvador
Bayer	El Salvador
Procela	El Salvador
Postcosecha	El Salvador
Sertesa	El Salvador
Lab. suelos. CENTA	El Salvador
Tec. de Alimentos. CENTA	El Salvador
Comunicaciones CENTA	El Salvador
COSUDE/FOMENTA	El Salvador

La comisión puso énfasis en involucrar a la comunidad de Guaymango en todos los aspectos de la organización y ejecución de la Feria. Se incentivó su participación en diferentes actividades relacionadas con el evento. Las escuelas fueron involucradas en el ordenamiento de los participantes, las calles fueron ornamentadas, y se incentivó la venta de comidas y bebidas por parte de amas de casa y locales de venta de alimentos. La Policía Nacional Civil prestó la seguridad necesaria en el evento. Además, fueron especialmente invitados 54 agricultores cooperadores en el proyecto de investigación sobre los impactos de la labranza de conservación que el CENTA, el PRM y el CIMMYT llevan a cabo en el área, a fin de entregarles un reconocimiento público por su actitud cooperadora.

LA FERIA

La Primera Feria de la Labranza de Conservación en Guaymango resultó un éxito si se juzga por la concurrencia, el entusiasmo de los participantes y el grado de involucramiento de la comunidad de Guaymango.

Dieciocho exhibiciones fueron montadas por instituciones públicas y privadas así como proyectos nacionales, regionales e internacionales interesados en difundir sus resultados y productos. La participación de los agricultores y de la comunidad fue excelente.

Participaron en la Feria más de 300 agricultores del área de Guaymango y comunidades vecinas, y una gran cantidad de funcionarios de organizaciones públicas y privadas.

La Feria dio comienzo con un acto protocolario de inauguración presidido por el Sr. Viceministro de Agricultura, Ingeniero Ernesto Jaimes, quien en su discurso de inauguración enfatizó la importancia de la labranza de conservación como una tecnología útil para aliviar el problema de la degradación de los suelos que enfrenta El Salvador. El Ingeniero Jaimes hizo un ferviente llamado a que el ejemplo de Guaymango se propague en otras áreas.

El CENTA, a través de su Director General, Dr. Roberto Arias Milla, lanzó el primer Concurso Nacional de Conservación de Suelos con el objetivo de promover la difusión de la labranza de conservación mediante el otorgamiento de estímulos en forma de premios a los agricultores que mejor implementen las prácticas de conservación en sus parcelas. Entre los premios de este concurso cabe destacar una visita a la sede central del CIMMYT en Texcoco, México, con el propósito de observar los trabajos de conservación que se realizan allí.

Luego del breve acto de inauguración, los asistentes comenzaron el recorrido por los diferentes exhibiciones y visitas guiadas a parcelas de agricultores del área. En estas últimas, los participantes pudieron observar el efecto de la labranza de conservación sobre la calidad del suelo cuando se realiza en forma continua por varios años. Se destaca también la demostración que el Programa de Fomento de la Tracción Animal (FOMENTA) realizó de la siembra con cero labranza mediante tracción animal. Durante las visitas a los "stands", los agricultores y otros visitantes pudieron tener acceso a una gran cantidad de información disponible en forma de publicaciones.

En las horas del mediodía y de la tarde la Feria se vio animada por la presencia del Ballet del Instituto Salvadoreño de Turismo, el grupo de teatro de FOMENTA integrado por artistas nicaraguenses, y de una marimba integrada por miembros de la comunidad de Guaymango.

Durante la Feria se realizaron varios actos de premiación y donaciones. Además de los ya realizados en el acto de inauguración, FOMENTA donó al CENTA el módulo de exhibición que había sido fabricado en Nicaragua. El PRODETEC INTA-

FINNIDA rifó entre los agricultores participantes una sembradora PROMECH adaptada para cero labranza y promovida por ese proyecto de cooperación entre Finlandia y Nicaragua. Finalmente, el PRM premió a cada uno de los 54 agricultores colaboradores con desgranadoras manuales fabricadas por FOMENTA. El CENTA, a través de sus exhibiciones, donó a los agricultores diversas muestras de los productos exhibidos. Lo mismo hicieron algunas de las casas comerciales presentes en la Feria.

La participación de la comunidad de Guaymango fue activa mediante la visita a la feria y la venta de comidas típicas. La actividad se prolongó hasta la noche.

ACCIONES FUTURAS

Queda la pregunta sobre si habrá o no una segunda, o tercera, o enésima Feria de la Labranza en Guaymango. Es decir, podrá la Feria hacerse sostenible? No hay todavía una respuesta cierta a estos interrogantes. Sin embargo, sí existen algunas propuestas concretas en ese sentido.

Para la segunda Feria existe la alternativa de realizarla como un día de campo de la XLII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA) que se realizará en El Salvador en 1996. En este día de campo, además de las exhibiciones de las instituciones y proyectos, se podrían presentar algunos de los afiches relacionados al tema de la conservación del suelo y el agua. De esa manera se estaría realizando una innovación en el PCCMCA mediante la combinación del día de campo con la presentación de afiches. Esta idea está siendo considerada por el CENTA, que es la institución responsable de la organización del próximo PCCMCA. Para la tercera Feria y otras posteriores, una posibilidad para hacerlas sostenibles a nivel de la comunidad sería realizarlas conjuntamente con la fiestas patronales de Guaymango.

Cualquiera que sea la alternativa que prevalezca, para que la Feria tenga un futuro sostenible es necesario que las organizaciones locales y fuerzas vivas de Guaymango se involucren intensamente en su organización y la asuman sientan con la misma determinación con que hace más de 20 años adoptaron la práctica del buen manejo de los residuos para la conservación del suelo y el agua.

AGRADECIMIENTOS

Las instituciones organizadoras de la I Feria, desean expresar su profundo agradecimiento a las distintas personas y organizaciones que mediante su aporte hicieron posible la realización del evento. A la Fundación Ford y a la Cooperación Suiza al Desarrollo, cuyo generoso financiamiento permitió la realización de la Feria. A las instituciones públicas y privadas nacionales, regionales e internacionales que, a través de su esfuerzo y dedicación en el montaje de los "stands", hicieron posible el éxito de la Feria. A todo el personal de la Agencia de Extensión Agropecuaria y Forestal de Guaymango, por el esfuerzo y dedicación en la organización y montaje de la estructura física de la Feria. A la comunidad de Guaymango, por el apoyo y entusiasmo demostrado antes, durante y después del evento. Finalmente a los agricultores del área de Guaymango, por su generosidad y colaboración.

REFERENCIAS

- Calderón, F. 1973. Programa de extensión agropecuario del Municipio de Guaymango. San Andrés, El Salvador. Centro de Tecnología Agrícola (CENTA). Mimeo.
- Calderón, F., H. Sosa, V. Mendoza, G. Sain y H. Barreto. 1991. Adopción y difusión de la labranza de conservación en Guaymango, El Salvador: Aspectos institucionales y reflexiones técnicas. *En: Agricultura Sostenible en las Laderas Centroamericanas: Oportunidades de Colaboración Interinstitucional*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Pp. 189-210. San José, Costa Rica.
- Choto, C., y G. Sain. 1993. Análisis del mercado de rastrojo y sus implicaciones para la adopción de la labranza de conservación en El Salvador. *En: Programa Regional de Maíz: Síntesis de Resultados Experimentales 1992*. CIMMYT, Programa Regional de Maíz para Centroamérica y el Caribe. Guatemala, Guatemala.
- Choto, C., G. Sain, y T. Montenegro. 1995. Productividad y rentabilidad del sistema maíz - sorgo bajo labranza de conservación en El Salvador. *En: Preparación*.
- Mendoza, V., H. Sosa, A.G. Alvarado, F. Calderón, H.J. Barreto, y W.R. Raun. 1991. Experiencias con labranza de conservación en ladera, sistemas maíz-sorgo y maíz-frijol, El Salvador. Centro de Tecnología Agrícola (CENTA). Mimeo. 20 pp. San Andrés, El Salvador.
- Sain, G. y H. Barreto. 1995. The adoption of soil conservation technology in El Salvador: Linking productivity and conservation. *Journal of Soil and Water Conservation*. Por publicarse.

Evaluación Participativa de un Ensayo de Arreglo Topológico Maíz-Vigna del INTA/PRM, Campo Experimental La Compañía, Nicaragua, 1995

Elvenes Vega¹, Adrian Maître² y Jorge Bolaños³

RESUMEN

La evaluación participativa de un ensayo de arreglo topológico de maíz-caupí del INTA/PRM, realizada durante la primera de 1995, mostró que entre los tratamientos innovadores de doble surco, el arreglo de doble surco de maíz con 40 cms entre los surcos goza de una mayor aceptación por parte de los agricultores. Sin embargo, el arreglo preferido por los productores fue el maíz en monocultivo. Se obtuvo también información de los agricultores sobre las razones de sus preferencias y sobre alternativas en cuanto al patrón de cultivo ("arreglo") se refiere. La mitad de los campesinos entrevistados hubiera sembrado frijol común en lugar del caupí. La evaluación participativa ayudó a identificar posibles colaboradores entre los productores para una posterior fase de adaptación de la tecnología a nivel de finca.

En ocasión de una gira de intercambio en agronomía sostenible de maíz durante la cual se visitó y analizó un ensayo de arreglo topológico de maíz-leguminosas del INTA/PRM, se acordó realizar una evaluación participativa de dicho ensayo. Esta propuesta respondió, al mismo tiempo, a una inquietud de fomentar el uso de los métodos de evaluación participativa en los trabajos de validación que están llevando a cabo las insituciones de investigación y transferencia.

Aspectos Agronómicos

El ensayo tenía por objetivo evaluar la alternativa del doble surco de maíz, contra maíz en monocultivo y asocio tradicional. Todos los tratamientos tenían la misma densidad de siembra de maíz y de asocio la misma densidad de la leguminosa. La variante es su arreglo topológico. El PRM está interesado fundamentalmente en la productividad del maíz, permitiendo variación local en la escogencia de la

leguminosa. Los tratamientos eran:

T1 Maíz en monocultivo

T2 Maíz en asocio con caupí, arreglo tradicional (maíz en surcos de 80 cms y caupí en medio de cada surco)

T3 Doble surco de maíz; maíz a 20 cms entre surcos, 2 hileras de caupí a 50 cms

T4 Doble surco de maíz; maíz a 40 cms entre surcos, 2 hileras de caupí a 40 cms

En los tratamientos de monocultivo (T1) y asocio tradicional (T2), la distancia entre surcos de maíz es uniforme y el follaje eventualmente "cierra calle" con una cobertura casi total del suelo. En comparación, en los tratamientos de doble surco (T3 y T4), el maíz probablemente no "cerrará calle", por lo que capturará menos radiación, significando potencialmente una menor productividad. Sin embargo, esta pérdida de radiación no interceptada por el maíz en los arreglos de doble surco debe ser compensada parcialmente por radiación lateral adicional capturada que es posible por el tamaño reducido de la leguminosa en asocio (caupí). La hipótesis que gobierna el ensayo es el rendimiento del maíz deberá ser similar en el doble surco que en los otros tratamientos.

Sin embargo, se espera que los tratamientos de doble surco difieran sustancialmente de los otros en el rendimiento de la leguminosa en asocio. En el doble surco, la leguminosa interceptará bastante más radiación que en el asocio tradicional, posibilitando una mayor producción total de biomasa y/o rendimiento final (rastrajo y/o grano) de esta. O sea, la hipótesis de trabajo es que el doble surco apunta a una productividad total mayor del sistema debido a una mejor eficiencia en la captura total de radiación *vis a vis* los tratamientos testigos. Esta productividad mayor solamente se verá realizada en la medida que el agua y los nutrimentos necesarios para sostener esta productividad no se encuentren limitados.

Es esencial enfatizar que este arreglo topológico del doble surco ha sido diseñado para sistemas de siembra manual (chuzo) y para suelos de ladera. Este arreglo

¹ Investigador Programa Suelo y Agua, INTA; ²Coordinador de PASOLAC, ³Agronomo regional de CIMMYT, respectivamente.

obviamente presenta muchas dificultades en su adopción para la siembra mecanizada. Sin embargo, esta estrategia puede tener un impacto positivo para el control de la erosión en suelos de ladera, donde el doble surco de maíz puede actuar como una especie de barrera viva. Es importante considerar estos criterios para la identificación de futuros agricultores colaboradores en una etapa posterior de prueba en finca.

Aspectos Metodológicos

El ensayo evaluado pertenece a la fase de experimentación. Tradicionalmente, no se contempla una evaluación por los productores de ensayos correspondientes a esta etapa inicial de experimentación. El modelo clásico de generación—*en la estación experimental*—y de transferencia—*a la finca*—de tecnologías, aún vigente en muchas partes, prácticamente excluye la intervención de los agricultores en una fase temprana de la investigación tecnológica. Este modelo, sin embargo, ha venido siendo ampliado². Hoy en día, en muchas instituciones de generación y difusión de tecnología ya no son hechos aislados cuando los productores (o productoras) visitan la estación experimental para evaluar los trabajos de experimentación, los cuales están diseñados para solucionar posteriormente un problema de producción en las fincas de una determinada región.

²Véase la importancia que ha venido ganando la experimentación campesina en Nicaragua (PCaC, UNICAM o recientemente el mismo INTA, apoyado por el PRIAG). También aportan elementos de juicio los siguientes trabajos: Ashby, Jacqueline. Manual para la evaluación de tecnologías con productores. CIAT. Publicación No. 188. Cali. 1992. Beltrán, Jorge. Evaluación de generaciones segregantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en campos de agricultores, en contraste a la realizada en estación experimental. Tesis. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 1993. Bentley, Jeffrey. Andrews, Keith. Pests, peasants, and publications: Anthropological and entomological views of an integrated pest management program for small-scale Honduran farmers. En: Human Organization, 50 (2), 1991: 113-124. Buckles, Daniel et al. Tierra cobarde se vuelve valiente. Uso y difusión del frijol de abono (*Mucuna deeringianum*) en las laderas del Litoral Atlántico de Honduras. CIMMYT. México. 1992. Maître, Adrian. Mejoramiento de frijol (*Phaseolus vulgaris*) para San Gil: El caso de la línea promisoría AFR 638 y la aceptación por los productores. En: CIAT. CORPOICA. Memorias de la Primera Reunión de Agroecología y Producción Sostenible en San Gil (Santander, Colombia). CIAT. Cali. 1994. p.51-69. Quiel, Pedro Antonio. Caracterización de técnicas de manejo postcosecha y presencia de aflatoxinas en maíz almacenado en sistemas tradicionales y mejorados por pequeños agricultores en dos municipios de Honduras. Tesis. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano. 1994.

Objetivos de la Evaluación Participativa

1. Conocer las preferencias de los productores.
2. Entender los criterios más importantes que ellos utilizan al evaluar una (nueva) tecnología.
3. Estimar el potencial de aceptación de la tecnología.
4. Poder definir mejor los próximos pasos en el proceso de introducción de la tecnología.
5. Estimular la experimentación propia del campesino.
6. Fomentar la colaboración entre los productores y los técnicos.

El presente ensayo, se basa en una serie de antecedentes e hipótesis agronómicos interesantes en cuanto a los arreglos de doble surco se refiere. Sin embargo, la tecnología innovadora de doble surco iba a ser transferida de la estación experimental al campo eventualmente. Por esta razón, se acordó realizar una evaluación participativa del ensayo para (1) permitir una intervención temprana de algunos productores en un proceso de generación y adaptación de una tecnología y (2) introducir un método de evaluación participativa con la finalidad de capacitar a los técnicos participantes.

El evento fué planificado conjuntamente por el INTA, PASOLAC y el PRM y preparado logísticamente por INTA. De parte del INTA intervino personal de la Agencia de Carazo (Región A-2), de la Regional A-2 y del Programa Nacional de Suelos y Agua. Se invitó a 20 productores de diferentes partes atendidas por la Agencia de Carazo.

MATERIALES Y METODOS

Desarrollo del Evento

1. Bienvenida a los agricultores
2. Introducción: Breve explicación del ensayo; aclaración del objetivo de la reunión con los productores³; explicación del procedimiento a los agricultores.
3. Formación de cuatro grupos de agricultores; cada grupo contaba con 5 productores y un técnico; cada grupo observa las 4 repeticiones del ensayo, analiza los

³No es un día de campo, durante el cual el Instituto le recomienda alguna tecnología al productor, es una reunión con los productores para que ellos evalúen diferentes formas de sembrar maíz y caupí y nos den a conocer su concepto y su preferencia.

4 tratamientos; el técnico es solamente guía, no interviene con sus propios conceptos; los agricultores toman su tiempo para observar y para ir formando una opinión

4. Evaluación del ensayo mediante una hoja de evaluación previamente diseñada; la evaluación es individual, es decir cada productor da a conocer su opinión por separado

5. Durante un receso, se determina el tratamiento preferido y el más rechazado

6. Reunión final con los productores: Presentación del resultado (orden de preferencia entre los tratamientos); discusión; aclaración de algunos aspectos técnicos de parte del responsable del ensayo; conclusiones de los productores en cuanto a como seguir con el trabajo.

RESULTADOS

1. A la pregunta cuáles de los 4 tratamientos les gustaba más, contestaron los productores de la siguiente manera. 60% dieron preferencia al T1 (maíz monocultivo), 35% al T4 (doble surco a 40 cm), 25% al T2 (asocio tradicional) y 20% al T3 (doble surco a 20 cm). Al mismo tiempo quedó el T3 (doble surco a 20 cm) como el tratamiento más rechazado (55%). Le sigue el T4 (doble surco a 40 cm) con 40%, el T1 (maíz monocultivo) con 35% y el T2 (asocio tradicional) con 20%. La Figura 1 presenta un resumen de la selección positiva y negativa realizadas por los agricultores.

El doble surco a 40 cm (T4) tendrá un mayor potencial de aceptación por los productores entre los dos tratamientos de doble surco, al llevarse esta prueba a nivel de finca. Sin embargo, el doble surco, en cualquiera de sus dos modalidades, quizás no es una práctica que convenza fácilmente a los productores.

2. Cuáles han sido las razones de escogencia de un determinado tratamiento? El Cuadro 1 contiene las razones más importantes en favor y en contra de cada arreglo, de acuerdo a como los productores se han pronunciado.

Nota: el total entre todos los tratamientos de la selección positiva supera el 100% debido a la posibilidad de mencionar mas de un tratamiento. Lo mismo se aplica en el caso de la selección negativa.

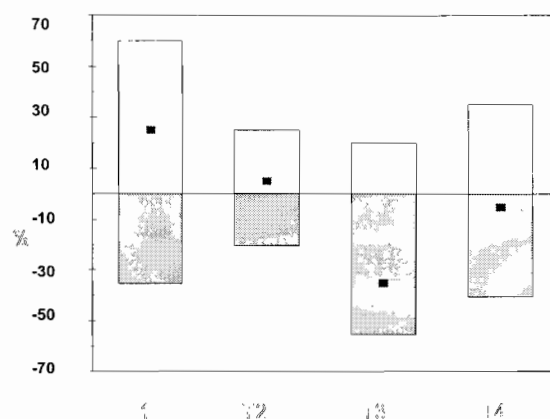


Figura 1. Preferencias y rechazo de tratamientos por productores en el ensayo arreglo topológico de maíz-leguminosas, INTA/PRM, La Compañía, 1995.

3. Porcentaje de selección positiva menos porcentaje de selección negativa o el índice de valorización global. La mayoría de las razones mencionadas tiene que ver con el cultivo de maíz, su desarrollo, la manera de sembrarlo y el rendimiento esperado. Relativamente pocos comentarios están relacionados con los efectos (positivos o negativos) de la leguminosa⁴. Además, tal como las opiniones han sido algo divididas en cuanto a la preferencia de los arreglos, se encuentran también razones opuestas referente a un mismo tratamiento.

4. A los productores se les hizo la pregunta qué iban a sembrar una vez que se haya terminado el ciclo vegetativo del caupí (o también después de su cosecha)? Un 35% señaló que no iba a sembrar nada en los espacios dejados por el caupí, mientras un 65% sembraría de nuevo. De estos últimos, un 77% sembraría frijol común, 15% otra leguminosa y un 8% un cereal. Al sembrar de nuevo, varios agricultores indicaron que lo harían con espeque y doblando previamente el maíz.

5. Finalmente, se quiso saber si los productores visitantes hubieran sembrado otro cultivo en lugar del caupí? 22% dijo que no, mientras el 78% manifestó que sí. De estos, 64% hubiera sembrado frijol común, 14% "frijol abono", 14% "trigo" (sorgo) y un 7% yuca.

Interpretación. El frijol común ocupa dos veces el primer lugar. Primero, cuando se trató de buscar un cultivo que se podría sembrar después del caupí. Segundo, al buscar una alternativa al caupí.

⁴Este hecho podría indicar que los productores carecen de información acerca de las funciones que cumplen las leguminosas en los sistemas asociados con maíz.

Cuadro 1. Razones en favor (+) y en contra (-) de los 4 tratamientos del ensayo arreglo topológico de maíz-leguminosas, INTA/PRM. Resumen de la opinión de los productores.

Tratamiento	(+)	(-)
T1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Parecido a la siembra en la finca 2. Mejor desarrollo del Maíz 3. Densidad/distancia buena 4. Mayor rendimiento 5. Facilita labores 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menor desarrollo del Maíz
T2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se acostumbra en la finca 2. Buena distancia del Maíz 2. Leguminosa controla malezas y guarda humedad 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se acostumbra en la finca
T3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mejor desarrollo del Maíz 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maíz muy cerca 2. Poco desarrollo del Maíz 3. Calle ancha (entre doble surco del Maíz) 4. Se guatea el Maíz 5. Menos rendimiento
T4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se aprovecha tierra 2. Buen desarrollo del Maíz 3. Mantiene suelo/humedad 4. Caupí alimenta Maíz 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Muy cerca el Maíz 2. Calle muy ancha 3. Menor desarrollo

Los campesinos afirman que el frijol común les es útil por su demanda en el mercado, su aptitud para el autoconsumo, por la costumbre de sembrarlo y por la posibilidad de sacar doble cosecha (frijol y maíz) de un área reducida de tierra. El caupí no comparte todas las ventajas que reúne el frijol común. Entonces, lo que para el productor está bajo evaluación no es solamente el efecto agronómico de la incorporación de una leguminosa en el maíz, mas bien los usos potenciales de dicha leguminosa, incluyendo el consumo humano y la comercialización.

6. En la reunión final, algunos productores manifestaron su interés en implementar un ensayo de arreglo topológico en su finca. La mayoría de los productores quiere volver a visitar el ensayo en el momento de la cosecha. Se mencionó otro posible arreglo, consistiendo en 3 a 4 surcos de frijol, alternándose con un surco de maíz. Otra idea de un campesino fué la de asociar sorgo con una leguminosa, bajo diferentes arreglos de siembra, siendo el sorgo un cultivo importante en su zona. Se habló también de la necesidad de llevar el trabajo a otras zonas agroecológicas. Finalmente, los productores hicieron entender que el evento les había gustado y que se debería llevar a cabo más frecuentemente este tipo de reuniones.

CONCLUSIONES

Los 4 arreglos topológicos de maíz, tres de ellos en asocio con caupí, no provocaron una clara tendencia de opinión entre los agricultores. No obstante, el arreglo maíz monocultivo goza de la mayor aceptación. El doble surco de maíz con distancia de 20 cm entre surcos fué el tratamiento que provocó más reprobación. El doble surco a 40 cm casi ocasionó igual número de pronunciamientos en favor como en contra.

La mayoría de las razones mencionadas por los productores en ocasión de su selección (positiva o negativa) de tratamientos tiene que ver con el cultivo de maíz, su estado de desarrollo y el rendimiento esperado. Pocos comentarios se refieren a los efectos (positivos o negativos) de la leguminosa. La mayoría de los productores (65%) sembraría otro cultivo al terminarse el ciclo vegetativo del caupí. Dentro de estos agricultores, 77% se decidiría por el frijol común.

La mayoría de los campesinos entrevistados—un 78%—hubiera, incluso, sembrado otro cultivo en lugar del caupí: 64% de ellos frijol común, la parte restante "frijol abono", sorgo o yuca.

RECOMENDACIONES

1. Al terminar el ciclo del caupí, se podría contemplar sembrar frijol común, ya que los campesinos se mostraron interesados en este patrón de cultivo.
2. Al llevar el ensayo a nivel de fincas, se debería incluir los tratamientos T1, T2 y T4 solamente.
3. Se debería analizar, si no valdría la pena asociar maíz con frijol común (en lugar de caupí). En este caso, incluso, se podría añadir como cuarto tratamiento el arreglo maíz-frijol intercalado (3-4 surcos de frijol, un surco de maíz), sugerido por un agricultor.
4. Sería oportuno insertar eventos de evaluación participativa en otros casos, por ejemplo en el mismo ensayo, montado en otras regiones o países (PRM) y también en otros trabajos, particularmente de

validación (INTA). En general, los informes sobre los ensayos deberían incluir los resultados de evaluaciones hechas por los productores, a parte de la ya acostumbrada información técnica y económica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quisieran destacar la valiosa contribución de las siguientes personas del INTA: Alejandro Ponce y Oscar López (Investigadores Región A-2), Ronny Lara (Líder Agencia de Carazo), Medardo Dinarte, José León, Lilibeth Arguëllo (Técnicos de la Agencia de Carazo) y Roberto Munguía (Socioeconomista, INTA Central). Igualmente agradecemos la colaboración de Miguel Obando (PASOLAC).



OTRAS CONTRIBUCIONES

Agroecología del Sistema de Aboneras en el Litoral Atlántico de Honduras

Bernard Triomphe¹

RESUMEN

En el litoral atlántico de Honduras se ha documentado un sistema de aboneras con la rotación de maíz con mucuna. Para duplicar este sistema en otras partes, se necesita una base teórica sólida. El presente estudio intenta proveer la información básica sobre el sistema de aboneras, en especial la dinámica de nutrientes. También se analizan tendencias a largo plazo de la fertilidad química y física de los suelos. La metodología se basó en estudiar parcelas con distintas historia de uso de esta rotación con aboneras para detectar cambios a largo plazo. Se describe brevemente el sistema de aboneras y se analizan las fracciones de la dinámica de nutrientes a lo largo del año, la acumulación y mineralización de la biomasa de mucuna, así como la dinámica del N en el perfil del suelo. Finalmente, un examen preliminar de los datos permite concluir que los suelos han mejorado después de 12 años de rotación continua, debido a la acción multiforme del mulch de la mucuna mantenido sobre el suelo. Si bien este sistema de aboneras es demasiado específico para extrapolarlo directamente a otras regiones, el mantenimiento de una cobertura casi perenne parece constituir un punto crítico para lograr una buena productividad y sostenibilidad agrícola.

En Centro América, hay mucha experiencia práctica por parte de los agricultores y de varias ONGs sobre el uso de rotaciones de cultivos, incluyendo cultivos de cobertura (Bunch, 1993; Thurston et al., 1994). Estas rotaciones parecen conllevar numerosos beneficios tanto desde el punto de vista del agricultor (baja inversión inicial, ganancias a corto plazo, ayuda en el control de malezas, etc.) como desde el punto de vista técnico (control de la erosión, buena productividad, etc.). Sin embargo, la caracterización sistemática y cuantitativa de estos factores es insuficiente todavía, impidiendo conceptualizar claramente el potencial y las limitaciones de dichos sistemas fuera de las zonas donde han sido desarrollados y adoptado espontáneamente por los mismos agricultores.

Dentro de este contexto, el objetivo de esta ponencia es presentar algunas evidencias iniciales

sobre el funcionamiento biológico del agroecosistema Maíz de postrera/Mucuna spp. tal como se practica en la costa norte de Honduras. En particular, se analiza la dinámica de nutrientes (especialmente la del nitrógeno) tanto en sus aspectos a corto plazo (ciclo anual) como en los de largo plazo (10 a 15 años). Finalmente, se discuten algunas implicaciones de nuestras observaciones sobre el diseño de sistemas de producción sostenibles.

METODOLOGIA

Brevemente, los puntos siguientes resumen el marco general dentro del cual este estudio se llevo a cabo (para mas detalles, véase Triomphe, 1996).

Objetivos

(1) caracterizar la rotación maíz/mucuna en sus aspectos agronómicos, (2) determinar los efectos a largo plazo de dicha rotación sobre la fertilidad del suelo y (3) explorar la dinámica del nitrógeno a lo largo del ciclo del maíz.

Enfoque de la investigación

La fertilidad química y física del suelo en parcelas de agricultores sometidas a la rotación maíz/mucuna.

Escala de la investigación

A nivel espacial, el estudio abarco cuatro niveles distintos: la región (el litoral Atlántico de Honduras); la comunidad (San Francisco de Saco, Las Mangas, El Recreo y Piedras Amarillas), la parcela y la falda uniforme (una posición topográfica particular seleccionada dentro de cada parcela). A nivel temporal, el estudio abarco dos escalas: el corto plazo (i.e. la temporada agrícola) y el largo plazo (10 a 15 años de uso continuo de la rotación maíz/mucuna).

¹ SCAS, Cornell University, Ithaca, New York.

Métodos

Todo el estudio se realizó bajo el esquema de "investigación en campos de agricultores". Los principales métodos de trabajo incluyeron (1) un monitoreo de sitios de observación a lo largo del ciclo de cultivo, que consistió en varias visitas en fechas claves de la rotación maíz/mucuna durante las cuales se miden u observan los principales factores y condiciones determinantes de los rendimientos de maíz (Byerlee *et al.*, 1991), (2) una serie de ensayos de respuesta a N y P acoplado con un seguimiento de la dinámica del N mineral en el perfil de suelo, y (3) la constitución de "cronosecuencias", o sea conjuntos de parcelas de distintas edades (desde 0 hasta 15 años de uso continuo de mucuna) que permitan "representar" la evolución de la rotación maíz/mucuna en el tiempo. El propósito de usar una cronosecuencia es poder entender las tendencias a largo plazo ahorrando el tiempo que llevaría necesariamente un experimento a largo plazo: por esta razón algunos autores hablan de sustitución espacio-por-tiempo (Pickett, 1988).

Mediciones y observaciones

Una combinación de entrevistas individuales y colectivas, observaciones cualitativas y mediciones cuantitativas fue usada para recolectar información. Los principales rubros de la recolección incluyeron las prácticas de los agricultores y su racionalidad, mediciones de biomasa de la mucuna, así como su contenido de nutrientes, su C:N, y su riqueza en C^{13} , estimaciones de los rendimientos de maíz y sus componentes, así como mediciones de su crecimiento y su estado nutricional. La fertilidad de los suelos se caracterizó a nivel químico por la determinación de las cantidades de N mineral (7 a 10 fechas muestro/ciclo), del pH, del C orgánico, N total, C/N, C^{13} , bases intercambiables, Al, P disponible, y micronutrientes. En cuanto a física de los suelos, se determinaron las tasas de infiltración, la densidad aparente, la macroporosidad, el contenido de agua y la temperatura a varias profundidades.

La mayoría de esas mediciones se repitieron durante dos ciclos de cultivo. La intensidad de recolección varío de una comunidad a otra: los estudios más detallados se hicieron en San Francisco de Saco mientras que en El Recreo y en Piedras Amarillas, el estudio fue mucho menos extenso.

**EL SISTEMA DE ABONERAS:
GENERALIDADES***El contexto socio-económico y agroecológico en las laderas del litoral Atlántico**a) Contexto socio-económico*

La Costa Norte tiene una historia de inmigración desde regiones más pobres del país; todavía es zona de frontera agrícola y a la vez esta sujeta a una marcada expansión ganadera abarcando cada vez más tierras con pendientes moderadas (Humphries, 1994). En promedio, los niveles de educación capacitación son relativamente bajos, con limitada acción oficial de apoyo al medio rural (infraestructura, crédito, extensión, investigación). A pesar de estas condiciones, la producción agrícola está fuertemente orientada hacia la comercialización, incluyendo el caso de los granos básicos.

b) Contexto agroecológico

La mayoría de las tierras "agrícolas" presentan pendientes fuertes (de 25-30 a 100 %). Sin embargo, los suelos son relativamente profundos y fértiles, clasificados en su mayoría como Alfisoles, Inceptisoles o Entisoles. Los suelos ácidos (Ultisoles) son más escasos. Las lluvias son copiosas (2500 a 3500 mm/año), permitiendo 2 ciclos agrícolas al año. Hay una temporada "seca" que se extiende de febrero a mayo (50 a 150 mm/mes) y una larga estación lluviosa en la cual la precipitación mensual rebasa fácilmente los 400-500 mm, especialmente entre septiembre y diciembre. Este clima tropical húmedo ofrece condiciones favorables para producir una gran diversidad de cultivos tanto anuales como perennes (PDBL, 1991).

c) Consecuencias agronómicas

A raíz de las condiciones anteriores, la agricultura de ladera en la Costa Norte está caracterizada por (1) una gran sensibilidad a la erosión de las tierras cultivadas y (2) un esquema productivo en el cual la deforestación y la agricultura migratoria siguen siendo dominantes, a la vez que la gran mayoría de los agricultores solo se dedican a la producción tradicional de granos básicos.

En este contexto, el desarrollo y la subsecuente adopción de un sistema de producción novedoso, como lo es el sistema de aboneras, representa un avance indiscutible, que requiere de atención especial, toda vez que entender bien estos sistemas permitiría su posible extrapolación fuera de la Costa Norte.

Calendario y prácticas típicas

Básicamente, el sistema de aboneras es una rotación (o quizás mejor dicho, una asociación) entre un cultivo de mucuna durante la principal estación lluviosa (primavera) y un maíz de temporada seca (postrera) (Flores, 1987). Una vez establecida la rotación en una parcela, las principales etapas son las siguientes:

- a) El fin del ciclo de la mucuna esta determinado por su madurez fisiológica "natural" entre mediados de noviembre y mediados de diciembre (i.e. cuando empieza a secarse, después de haber producido semilla), momento después del cual los agricultores chapian la mucuna con todo y vainas, sin quemar este material.
- b) Inmediatamente después de la chapia, siembran el maíz con espeque a través del grueso colchón de mucuna seca, entre diciembre y enero.
- c) Siguen generalmente uno a dos controles de malezas (generalmente manual, pero a veces con Paraquat), para beneficio del maíz y también de la mucuna, que se restablece naturalmente en las parcelas a partir de febrero (germinación espontanea de las semillas producidas en noviembre/diciembre y que acabaron de madurar en el colchón). Muy pocos agricultores resiembran la mucuna año tras año. Una minoría aplica un poco de urea a los 40-50 días después de la siembra del maíz.
- d) En este momento y sin contar la poda que se le da a la mucuna (en dado caso de que se desarrolle mucho), es solo cuestión de esperar la cosecha a partir de finales de abril. Al finalizar la tapisca, la parcela vuelve a estar dominada por la mucuna, que crece vigorosamente y sofoca gradualmente todas las malezas que habían prosperado después de la ultima limpia, a la vez que bota todas las cañas de maíz al treparla. No hay ninguna intervención mas en la parcela hasta que regrese el tiempo de la chapia. Cabe enfatizar el hecho que el sistema de aboneras es un sistema de cero labranza, sin quema y con muy pocos insumos externos (un poco de herbicida y fertilizante, si es que se usan del todo).

Ventajas y desventajas

Las principales *ventajas* de este sistema son las siguientes:

- a) Requiere poca mano de obra tanto para el establecimiento del sistema como para su mantenimiento
- b) Permite aprovechar el mejor ciclo para el maíz (periodo seco & precio de venta)
- c) No se quema la parcela; el suelo queda cubierto todo el año (lo que evita la erosión y conserva agua en el perfil de suelo)
- d) Provee cantidades apreciables de nitrógeno y otros nutrientes al descomponerse el mulch de mucuna.
- e) El mulch ayuda en el control de malezas
- f) Los rendimientos de maíz son buenos (2.5 a 3.5 t/ha en promedio, o sea 100% mas comparado con parcelas sin mucuna) y empiezan a subir desde el primer año de establecida la rotación; posiblemente, sean más estables de un año para otro.

En cuanto a *desventajas* tales como las señalan los agricultores (Buckles *et al.*, 1992), cabe destacar:

- 1) La limitación más clara consiste en la perdida de un ciclo agrícola al año, en el sentido que la mucuna (que hasta la fecha no ha recibido ningún otro uso que el de servir como mulch) ocupa la parcela por 8 meses, un tiempo durante el cual se podría teóricamente producir otro cultivo. Existen algunas experiencias con 2 ciclos de maíz al año en rotación con mucuna, pero no queda muy claro todavía como acortar el ciclo de esta ultima sin afectar marcadamente la producción de biomasa o de semilla.
- 2) Varios agricultores mencionan los derrumbes durante los periodos de lluvias intensas (mas de 200-300 mm en uno o dos días) en las partes con pendientes muy fuertes (> 60-70%), debido supuestamente al ablandamiento del suelo propiciado por la mucuna. Pero estos mismos derrumbes se observan en parcelas sin mucuna y hasta en los bosques vírgenes...las laderas de la Costa Norte no son muy estables y cultivarlas año tras año con o sin mucuna seguramente acentúa los riesgos de derrumbes.

3) La proliferación de ratones: pero esta situación parece ser cíclica y afecta también las partes sin aboneras

En la práctica, las ventajas superan ampliamente las desventajas y hacen de este sistema una alternativa muy deseable (vease criterios descritos en Bunch, 1993), explicando la popularidad excepcional de este sistema entre los agricultores del litoral Atlántico: la tasa promedio de adopción casi alcanza 70% (Buckles *et al.*, 1992).

Al mismo tiempo que se reconocen los logros y cualidades indiscutibles del sistema de aboneras, surgen numerosas preguntas y dudas sobre las posibilidades de mejorarlo y adaptarlo (o cuando menos sus principios) a otras condiciones agroecológicas en y /o fuera de Centro América (Thurston *et al.*, 1994). Sin embargo, no es fácil querer adoptar o mejorar las prácticas de los agricultores de la Costa Norte, sin entender primero los mecanismos biológicos que constituyen la base del funcionamiento interno del sistema de aboneras y que condicionan las mismas prácticas.

DINÁMICA DE NUTRIENTES A CORTO PLAZO

El sistema de abonera es muy complejo: para simplificar la discusión, solo se hará hincapié en algunos aspectos relacionados con la dinámica de nutrientes a corto plazo, en base a tendencias promedio observadas en San Francisco de Saco. Ya que este tipo de análisis depende de cómo están definidas las fronteras del sistema, vamos a considerar para la discusión subsecuente un sistema *abierto* conformado por el perfil de suelo (0 a 100 cm), con una capa de mulch (i.e. material muerto) encima. Todos los demás componentes, como por ejemplo la mucuna en crecimiento o el N lixiviado, son por definición considerados externos al sistema y como tal, representan entradas o salidas.

"Pools" de nutrientes y mecanismos de transformación.

En base a la definición anterior, se vuelve más fácil identificar los varios compartimientos ("pools" en inglés) tanto internos como externos que participan en el ciclo de nutrientes, ya sea como fuentes, o como pozos (i.e. sitios donde se acumulan los nutrientes). Puesto que esta situación es dinámica (i.e. cambia con el tiempo), es necesario diferenciar cuales son los

compartimientos activos durante distintos periodos del año. Para simplificar la presentación, nos limitaremos a indicar los principales puntos a considerar sobre el ciclo de nutrientes (Cuadro 1).

Al analizar el Cuadro 1, uno puede darse cuenta de: (1) La importancia capital del *mulch* en todas las etapas del ciclo ya sea como fuente o como pozo de nutrientes, lo que lo califica como *regulador principal del ciclo de los nutrientes* en el sistema de aboneras. Su contribución está estrechamente relacionada con la intensidad de la mineralización y el aporte periódico de material orgánico fresco. También participa activamente en las redistribuciones internas que toman lugar permanentemente entre el mulch, la materia orgánica del suelo, la biomasa microbiana y la solución del suelo. (2) El papel de las *malezas*, que inmovilizan nutrientes al absorberlos durante su crecimiento y los restituyen al ser nuevamente incorporadas al mulch durante las limpiezas. (3) El papel de las *prácticas de los agricultores* en la alimentación del mulch y la exportación de nutrientes.

La fase de acumulación durante la estación lluviosa

Quizá la forma más sencilla de analizar el papel desempeñado por el ciclo de la mucuna es considerando este último como una fase de acumulación y reciclaje de nutrientes (N claramente, pero también P, K, Ca y micronutrientes).

Una de las preguntas-claves es que tan rápido toma lugar esa acumulación durante el ciclo de la mucuna. No podemos cualificar el ritmo detallado durante todas las etapas de desarrollo de la mucuna, ya que solo medimos biomasa entre floración (octubre) y chapía (diciembre) durante un solo año. Resulta que la mucuna parece acumular activamente biomasa (en base a materia seca) en este periodo, con un aumento promedio aparente de 40% en menos de 3 meses: de 10.0 t/ha a 14.2 t/ha. En términos de nitrógeno, el aumento es menor: solo 26% en promedio, pasando de 0.24 a 0.31 t/ha, reflejando probablemente la mineralización activa que toma lugar aun durante el ciclo de la mucuna y también la importancia de la redistribución interna del N acumulado hasta octubre. Una conclusión práctica importante es que sería algo arriesgado querer acortar el ciclo de la mucuna (considerando que 8 meses es un lujo) ya que se perderían cantidades considerables de biomasa y de nutrientes, lo que posiblemente afectaría el potencial de rendimiento del maíz.

Cuadro 1: Principales fuentes y pozos de nutrientes en el sistema de aboneras, Litoral Atlántico de Honduras.

Periodo	Entradas en el sistema			Salidas del sistema		
	Fuente	Pozo	mecanismo	Fuente	Pozo	mecanismo
dic. a febrero	mucuna	mulch	chapia	mulch	malezas	min/abs
febrero a abril	malezas (urea)	mulch (sol. suelo)	limpia (fert.)	m.o. suelo	medio ambiente malezas	min/lix+vol+esc min/abs.
mayo a junio	malezas cañas de maíz (atmosfera)	mulch mulch (mucuna)	limpia min (fij)	mulch m.o. suelo	maíz, (mucuna) medio ambiente (maíz) mucuna	min/lix+vol+esc (cosecha) min/abs
julio agosto sept. a nov.	(atmosfera) (atmosfera) hojas mucuna	(mucuna) (mucuna) mulch	(fij) (fij) caida espont.	mulch m.o. suelo m.o. suelo (mulch)	mucuna medio ambiente mucuna mucuna medio ambiente	min/lix+vol+esc min/abs min/lix+vol+esc min/abs min/lix+vol+esc

Notas: min = mineralización; abs = absorción; lix = lixiviación; vol = volatilización; esc = escurritia; fert = fertilización; fij = fijación simbiótica

El uso de paréntesis denota entradas o salidas importantes que no se observan sistemáticamente o que toman lugar en las fronteras del sistema tal como se definió en la introducción al párrafo 4.

La fase de redistribución durante la temporada seca

Al chapiar la mucuna, el agricultor propicia su descomposición bajo la acción conjunta de la flora y meso y microfauna (insectos, hongos, bacterias, etc.) presentes en o cerca de la superficie del suelo. Al descomponerse, el mulch de mucuna libera los nutrientes que esta última había acumulado durante su ciclo. Al volverse disponibles nuevamente en solución, estos nutrientes son absorbidos total o parcialmente por una serie de organismos (animales o vegetales) que los necesitan para su crecimiento y desarrollo: entre ellos, el maíz pero también las malezas, o los propios microorganismos del suelo. Los nutrientes no asimilados pueden perderse por volatilización, lixiviación, o también ser incorporados en la materia orgánica estable (el "humus") después de transformaciones sucesivas.

Cabe recordar que el proceso de descomposición es gradual y sujeto a la influencia de las condiciones climáticas: en particular, las condiciones muy secas frenan la descomposición, hecho importante que considerar debido a que el mulch queda totalmente expuesto a la desecación por estar ubicado a la superficie del suelo.

Al igual que en el caso de la acumulación de nutrientes, una pregunta crítica es saber cuál es la tasa de descomposición del mulch. Mediciones realizadas entre diciembre 93 y mayo 94 (un año excepcionalmente seco) permiten estimar indirectamente tasas de descomposición (en base a materia seca) del 33% en los 80 primeros días después de la chapia y 17% adicionales entre los 80 y 160 días

(cuando la sequía fue casi total). En términos de nitrógeno, las tasas son del 40% y del 18% respectivamente para los mismos periodos, correspondiendo a una liberación promedio de 103 y 28 kg de N por hectárea, probablemente inferior a la que se da durante una postrera más húmeda.

Dinámica del N Mineral

Debido a la importancia capital de la mineralización para el ciclo del N en el sistema de aboneras, vale la pena conocer la intensidad y dinámica de este proceso, especialmente durante la fase de redistribución del N, ya que nos interesa más que nada el N disponible para el cultivo de maíz. Una primera aproximación consiste en seguir el contenido de N mineral de la solución del suelo durante el ciclo del maíz. Sin entrar en detalle, la Figura 1 sintetiza los datos obtenidos durante dos años consecutivos (postreras 92/93 y 93/94) en parcelas con varios años en la rotación maíz/mucuna. El N mineral (expresado en kg de N por hectárea) representa la suma del NO₃ y del NH₄ encontrados en cada fecha en muestras de suelo colectadas entre 0 y 60 cm de profundidad. Cabe señalar que esta evaluación no toma en cuenta el N directamente absorbido por las raíces (de maíz, de malezas) presentes en el mulch y también el N orgánico presente en la solución del suelo, cuya contribución parece ser del mismo orden de magnitud que la del N mineral.

En base a la figura 1, cabe destacar lo siguiente:

a) A pesar de la variabilidad entre parcelas en cuanto a niveles de N, puede considerarse que todas las parcelas

muestreadas presentan un comportamiento bastante uniforme.

b) Poco después de la chapia de la mucuna y por unas 3 a 4 semanas, hay un marcado incremento en la disponibilidad de N mineral en el perfil de suelo, con niveles máximos alrededor de 0.1 t/ha⁻¹.

c) Hay una buena sincronización entre la demanda de N por parte del maíz en crecimiento y la liberación de N que se origina de la mineralización del mulch y de la materia orgánica del suelo. La disminución del N disponible en el perfil se debe seguramente en gran parte a la absorción activa de N por el maíz o las malezas durante este periodo (absorción típica alrededor de 0.1 t/ha⁻¹ en las partes aéreas del maíz a madurez fisiológica).

d) Hay bastante N disponible en el suelo durante todo el año, aun cuando no hay demanda por parte del maíz: este N es muy probablemente reciclado parcial o totalmente por la propia mucuna, lo que invita a interrogarse sobre la importancia real de la fijación simbiótica en el sistema de aboneras.

Cuadro 2. Respuesta del maíz a una aplicación de 50 kg N-urea/ha en el sistema de aboneras, Litoral Atlántico, Honduras.

Localidad	año	(n)	NTC	rend sin N	efecto + 50N	site/resp signif. al N
San Fco.	1993	(3)	0.24	3.5 t/ha	+0.1	0/3
San Fco.	1994	(7)	0.25	4.0	+0.6	3/7
Las Mangas	1994	(3)	0.22	3.2	+0.5	1/3

(n) numero de parcelas de ensayo
(NTC) No. Total al Chapiar t/ha

e) La mayoría del N disponible se encuentra en los primeros 10 a 15 cm del perfil, a la vez que la cantidad de N en los horizontes mas profundos es relativamente baja, dando a pensar que las pérdidas por lixiviación deben de ser modestas.

f) Finalmente, hay una tendencia a encontrar menos N mineral en el perfil en 93/94 comparado con 92/93 para periodos similares del ciclo de maíz (por ej. alrededor de 0.05 t/ha a los 45 dds vs. 0.07 t/ha resp.).

Respuesta del maíz a aplicaciones de Nitrógeno externo

Desde el punto de vista del cultivo de maíz, no importa mucho de donde viene el nitrógeno, con tal de que haya lo suficiente en la solución del suelo durante los tiempos en que la planta lo requiere para su crecimiento. Una forma relativamente sencilla de determinar si hay suficiente N es agregándolo al suelo y ver si la planta responde a esta adición: si no y asumiendo que no interactuaron otros factores con la respuesta al N, uno puede concluir que el suministro "natural" de N cubre las necesidades del cultivo. Si la respuesta es significativa, esto indica que el suministro de N durante el ciclo del maíz no fue adecuado ya sea en términos de cantidades o de disponibilidad instantánea.

Aunque la respuesta a N fue muy variable de una parcela para otra, la respuesta promedio fue mas fuerte en 93/94 comparado con el año anterior (Cuadro 2), lo que esta en acuerdo con las tendencias detectadas en cuanto a disponibilidad de N mineral en el perfil (véase dinámica del N mineral). Ya que el N total acumulado por la mucuna al momento de la chapia fue similar entre los 2 años, una interpretación razonable permite relacionar la amplitud de la respuesta con la precipitación recibida durante la postrera. Durante una postrera relativamente humeda como la del 92/93,

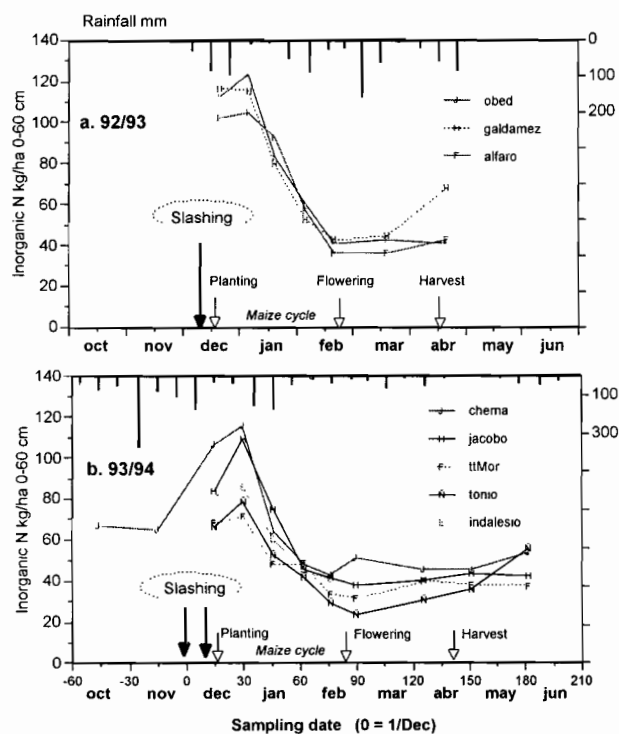


Figura 1. Dinámica del nitrógeno mineral en el perfil del suelo (0-60 cm) en parcelas bajo el sistema de aboneras, San Francisco de Saco, Honduras, ciclos 92/93 y 93/94

hubo una mineralización activa del mulch proporcionando cantidades de nitrógeno suficientes para el maíz, mientras que durante una postrera muy seca como la del 93/94, la mineralización fue menor por falta de agua, conduciendo a cierta deficiencia en N, que pudo ser compensado por un aporte externo de urea. Cabe recordar que en la Costa Norte, la probabilidad de tener una postrera muy seca es relativamente baja, indicando que en promedio, habría poca necesidad de aplicar urea en parcelas con producción abundante de biomasa de mucuna, cuando menos bajo el manejo seguido por la mayoría de los agricultores en la actualidad.

EVOLUCIÓN DEL PERFIL DE SUELO A LARGO PLAZO

Los efectos a largo plazo son una consecuencia de la repetición año tras año de los mecanismos parcialmente analizados en el párrafo anterior. Representan el balance neto dejado por los 2 mecanismos opuestos de acumulación de materia orgánica y nutrientes por un lado y de descomposición de esta materia orgánica y salidas definitivas de nutrientes del sistema del otro lado.

Debido a la metodología empleada para caracterizar estos efectos (el uso de un esquema de cronosecuencias), no podemos hacer mas que deducir de manera *indirecta* las tendencias *aparentes* de la evolución de algunas de las características del suelo de parcelas sometidas al sistema de aboneras. Finalmente cabe destacar que en una perspectiva de sostenibilidad y específicamente de conservación del medio ambiente, lo que importa es predecir cambios negativos eventuales, indicativos de una degradación del recurso suelo. Por el contrario, características estables o mejoradas indican que el sistema es sostenible en su forma presente.

La dinámica de la materia orgánica

Hay varias formas de caracterizar los cambios que afectan la materia orgánica en el sistema de aboneras: una forma es analizando las cantidades totales de m.o. presentes y la otra es analizando su calidad, tal como la refleja por ejemplo su composición. En esta discusión, vamos a usar datos colectados en San Francisco de Saco, por ser mucho mas detallados que los de cualquier otro sitio.

Cuadro 3. Distribución del carbono orgánico (%) en los primeros 15 cm del suelo en parcelas con 0 hasta 15 años en el sistema de aboneras, San Francisco de Saco, Honduras.

clase edad	edad	1*	2	3	4	5	6
testigos	0	3.01	2.14	1.77	1.48	1.33	1.12
1-3 años	1.9	3.36	2.51	2.06	1.72	1.44	1.27
4-6 años	4.8	4.20	2.76	1.98	1.50	1.20	1.01
7-9 años	8.0	4.55	2.90	2.04	1.63	1.37	1.18
>10 años	12.7	4.30	2.71	1.98	1.63	1.36	1.18

* 1 = hor. 0-2.5 cm; 2 = hor. 2.5-5 cm; 6 = hor. 12.5-15 cm

Los datos presentados en el Cuadro 3 son típicos de los cambios que afectan un perfil en un sistema de cero-labranza (Barreto, 1989). Ya que el aporte de materia orgánica se hace por encima del perfil, sin ninguna incorporación, los primeros 5 cm del perfil son donde se nota claramente la acumulación de m.o., mientras que a profundidades mayores de 10 cm, casi no pueden detectarse diferencias.

Usando una muestra mas completa de parcelas, se observaron los cambios siguientes en el horizonte 0-10 cm: el C orgánico aumenta de 2.13% en parcelas sin mucuna a 2.39% en parcelas de 4-6 años con mucuna y 2.76% en parcelas con mas de 12 años. Acompañando los cambios en C orgánico, hubo cambios simultáneos en las cantidades de N total presentes en el perfil (0.21%, 0.24% y 0.29% respectivamente), reflejándose en la estabilidad relativa de la relación C:N: 10, 10.1 y 9.4 respectivamente para los mismos grupos de parcelas.

También vale la pena destacar que a medida que van aumentando los niveles totales de N, su disponibilidad (para mineralización y reciclaje) parece ir aumentando, tal como lo indican los datos de potencial de mineralización: 31 ppm de N para parcelas sin mucuna vs. 41 ppm para aboneras viejas. Es interesante evaluar las tasas *netas* anuales de almacenamiento de C y N en los 10 primeros cm del perfil. Para carbono, se trata de un promedio de 0.05% anuales (in: 0.016 y mas: 0.106), representando un almacenamiento promedio de mas de 1/2 t.ha⁻¹ de C en este horizonte cada año.

Para N, la tasa anual de almacenamiento neto alcanza 0.006% (min: 0.0022 y max: 0.0105 %), o sea alrededor de 70 kg de N.ha⁻¹ almacenados en el horizonte 0-10 cm cada año.

pH, bases intercambiables y Fósforo

La Figura 2 indica sin ambigüedad que no hay ninguna tendencia hacia la acidificación del perfil con el tiempo, al contrario, como lo comprueban la estabilidad o ligero aumento de pH, el incremento en la cantidad de bases intercambiables y los niveles insignificantes de Aluminio. Esta acidificación hubiese podido manifestarse debido a la grandes cantidades de N liberadas por la mucuna y potencialmente disponibles para ser lixiviadas. El hecho de que no se detectó acidificación alguna parece confirmar las observaciones hechas en 4.4 y resalta la probable importancia del eficiente reciclaje de N en el sistema de aboneras.

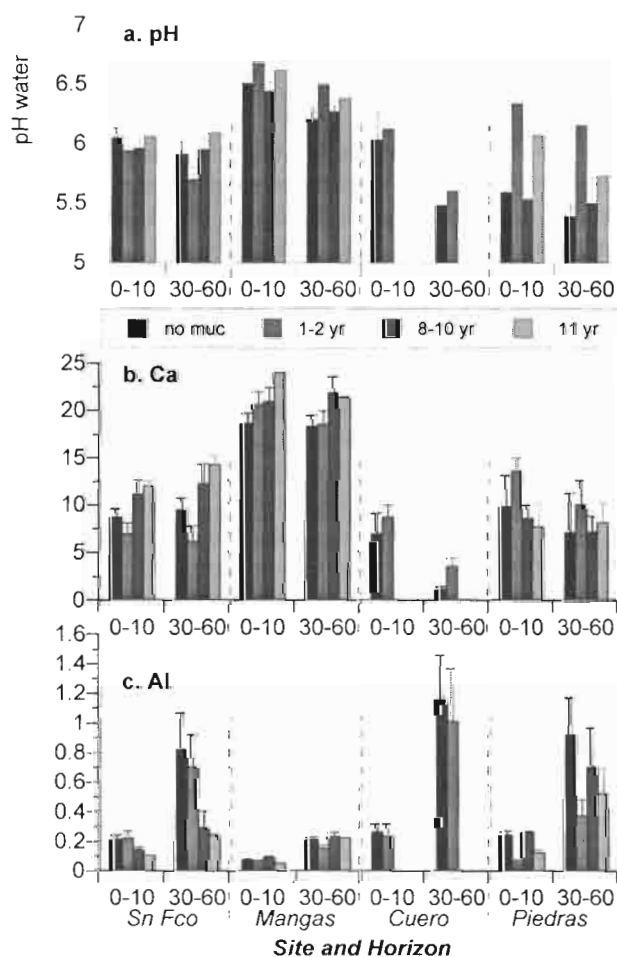


Figura 2. Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el tiempo en el sistema de aboneras, en 4 comunidades del litoral Atlántico de Honduras

En cuanto a la tendencia a tener más fósforo disponible con el tiempo, una interpretación posible involucraría el proceso de solubilización del P del suelo propiciado por la mucuna y su subsecuente retención y reciclaje en el mulch y en los primeros cm del suelo (Schlather and Duxbury, 1994).

Cambios en las Propiedades Físicas

La evaluación llevada a cabo en este estudio fue menos sistemática que en el caso de las propiedades químicas, e incluyó menos parcelas, por razones logísticas obvias. También cabe destacar la fuerte variabilidad intra-parcela de las propiedades físicas, un hecho ampliamente documentado en la literatura.

Sin embargo, es todavía posible detectar algunas tendencias indicativas de la dinámica que afecta las propiedades físicas del perfil de suelo. Por ejemplo, las tasas de infiltración parecen haber aumentando en parcelas con muchos años en el sistema de aboneras, pasando de 46 mm/hora en promedio para parcelas sin mucuna o con menos de 2 años en el sistema, a unos 67 mm/hora para parcelas entre 5-7 años y 81 mm/hora para parcelas con más de 10 años. Simultáneamente, las tasas de escurrentía respectivas (obtenidas después de haber aplicado lluvias artificiales con una intensidad alrededor de 100 mm/hora, un nivel fuerte aún para el litoral Atlántico) alcanzaron 49%, 32% y 24% para las mismas parcelas (van Es *et al.*, 1994).

Lógicamente, la porosidad total del horizonte 0-10 cm (el opuesto de la densidad aparente) parece haber aumentado ligeramente con el tiempo transcurrido en el sistema de aboneras, pasando de menos de 52% a 55% y a 57% siempre para los mismos 3 grupos de parcelas. Este incremento no parece traducirse en una macroporosidad significativamente más importante en los primeros 10 cm del perfil, sin embargo. Globalmente, estos datos confirman la percepción de los agricultores quienes hablan de "ablandamiento" del suelo bajo la rotación maíz/mucuna, cuyo origen no queda muy claro (acción de las raíces de la mucuna vs. actividad de los lombrices y otros miembros de la mesofauna del suelo por ejemplo).

Finalmente y aún que no podamos presentar datos cuantitativos al respecto, cabe destacar el hecho de que no parece haber erosión alguna en el sistema de aboneras, si uno acepta los derrumbes locales y otros signos de degradación como fenómenos irremediables que afectan periódicamente algunas parcelas (con o

sin mucuna) cuando las lluvias rebasan los 200 a 300 mm en unos pocos días.

IMPLICACIONES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE CULTIVOS SOSTENIBLES Y PRODUCTIVOS

Al cabo de esta presentación, en la cual se discutieron algunos de los mecanismos y efectos observados en el sistema de aboneras, vale la pena reflexionar sobre las lecciones que nos enseñan tanto el funcionamiento de este sistema como la historia de su adopción (Buckles et al., 1992) en cuanto a la concepción de sistemas de cultivos sostenibles.

Características sobresalientes de la rotación maíz/mucuna

Cabe enfatizar una vez mas algunas de las ventajas indiscutibles del sistema de aboneras. Requiere poca mano de obra y pocos insumos externos. Ofrece al agricultor una buena productividad física en su forma presente (rendimientos promedios de 2.5 a 3.5 t/ha) y a la vez un alto potencial productivo a futuro (los mejores rendimientos observados superan los 6 t/ha). Estas ganancias en productividad (en otras palabras, esta intensificación) comparado con el sistema tradicional se logran sin ninguna degradación del recurso suelo. Finalmente, es una innovación fácil de adoptar aún sin ayuda de parte de un sistema oficial de extensión, lo que obviamente constituye una de sus características mas deseables, esto en un contexto de disminución de las capacidades públicas de intervención en la agricultura campesina.

Factores y condiciones específicos a la costa norte de Honduras

Mucha gente sueña con duplicar los resultados obtenidos en la Costa Norte en otras regiones de Centro América y tienen tendencia a considerar la mucuna como una receta universal. Sin embargo, tal actitud es peligrosa ya que el sistema de aboneras constituye una adaptación única a un conjunto de factores y condiciones relativamente específicos de la Costa Norte de Honduras. Hay pocas otras regiones con lluvias tan abundantes y tan bien distribuidas, con suelos tan fértiles, con condiciones de mercado tan ventajosas y con presión demográfica moderada, permitiendo dedicar sin mayor problema hasta la fecha parcelas enteras a lo que se puede considerar como un

ciclo de “barbecho mejorado” de 8 meses de duración. Lo que si puede extrapolarse son los principios que forman la base del sistema de aboneras, quedando como trabajo diseñar sistemas específicos que permitan hacer uso de ellos.

El mulch, ¿un principio con validez general?

Claramente, la clave del sistema de aboneras esta constituida por la creación y el mantenimiento de un mulch casi perenne que cumple múltiples funciones cruciales: dispositivo anti-erosivo eficiente y barato, ayuda en la conservación de agua y el reciclaje de nutrientes y ayuda en el control de malezas. Contrariamente a muchas propuestas concebidas por agrónomos que pretenden aumentar la productividad agrícola en base a la adopción de todo un paquete tecnológico complejo, la integración de tan solo una innovación (el mulch), permite transformar positivamente en un solo golpe casi todos los aspectos del sistema de producción. Ahora bien, hay que reconocer que producir y mantener un mulch suficiente representa un gran reto para los que trabajan en regiones con un potencial limitado para la acumulación anual de biomasa vegetal y en donde la competencia para acceso a la tierra es fuerte (por el ganado o los propios agricultores) (Buckles and Barreto, 1995).

El papel del científico en la concepción y el mejoramiento de los sistemas de cultivos

Ojalá este estudio haya servido para ilustrar una vez mas los grandes beneficios que pueden derivarse al aceptar partir de la experiencia y la realidad de los agricultores, para concebir y mejorar los sistemas de cultivos presentes con su participación activa. En mi opinión, es menester y justificado muy a menudo salir del esquema tradicional del tipo ‘transferencia de tecnología’, especialmente cuando el cliente principal de este proceso vive algo al margen de la sociedad industrial-comercial de donde suele funcionar el modelo de transferencia.

Otra lección importante consiste en reconocer la utilidad de trabajar con un enfoque de “sistemas” para maximizar la probabilidad de identificar los problemas y las oportunidades mas relevantes para desarrollar alternativas atractivas para los agricultores. Desafortunadamente, sigue habiendo un énfasis exagerado en los círculos académicos y profesionales hacia estudios y acciones muy disciplinarias, sin considerar de cerca las interacciones con otros

componentes y factores. Hay que seguir luchando por crear condiciones adecuadas para que los agrónomos estudien y adopten un enfoque de sistema, no por ser una moda intelectual sino por ser una necesidad metodológica de rutina.

Al mismo tiempo, es muy necesario dedicar esfuerzos especiales para analizar adecuadamente los mecanismos biológicos que forman la base de los efectos o resultados encontrados en los estudios agronómicos llevados a cabo en parcelas de agricultores o en las mismas estaciones experimentales. Sin este entendimiento, los agrónomos están condenados a repetir trabajos cuya única originalidad consiste en el sitio o el año en que se desarrolla, sin ofrecer posibilidades claras de extrapolar resultados a otros sitios o años. Claramente, queda mucho por hacer en este sentido y se requiere de inversiones significativas a varios niveles para lograr mejorar esta situación.

Finalmente, considerando las fuertes limitaciones prácticas que afectan a las instituciones de muchos países tropicales, parece aconsejable reconsiderar la forma en que los recursos están distribuidos dentro de aquellas instituciones encargadas de la investigación agronómica. En mi opinión, sería probablemente más eficiente a largo plazo trabajar relativamente a fondo en pocos sitios y sobre pocos temas, con métodos y herramientas de bajo costo (pero bien adaptados a los objetivos), que seguir esparciendo recursos minúsculos entre innumerables temas o sitios, alcanzando en el proceso más frustraciones que verdaderos logros. A manera de ilustración, no creo que se lograrán grandes avances en el tema de cultivos de cobertura sin invertir recursos (humanos, financieros) significativos.

AGRADECIMIENTOS

Antes de todo, quisiera mencionar la contribución esencial que tuvieron a lo largo de este estudio los agricultores de San Francisco de Saco (Atlántida) y especialmente Don José María Ayala Enríquez, no solo por haber compartido pacientemente sus experiencias y parcelas conmigo, sino también por estar dentro de los principales creadores del sistema de aboneras. La investigación reportada en este documento ha sido financiada conjuntamente por el CIRAD (Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Developpement, Francia) y el CIIFAD (Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development, Estados Unidos) y constituye una parte de mi tesis de doctorado con la Universidad de Cornell, bajo la asesoría de los Dres. Bouldin y Mt. Pleasant. Personas de varias instituciones participaron activamente en este proyecto: especialmente a Marco-Antonio Ponce, Luis Brizuela, Secarlos Padilla, estudiantes del Departamento de Suelos del CURLA/UNAH, a Manuel Lopez y Oscar Espinal, profesores del mismo Departamento, al Ing. Orly

García y a Ing. Angela Munguia, de SRN, así como Pedro Baca, Guillermo Rosales, María Gricel Navarro y Christian Alix, técnicos y asesor respectivamente del PDBL (Proyecto de Desarrollo del Bosque Latifoliado).

REFERENCIAS

- Barreto, H. 1989. Cambios en propiedades químicas, patrones de fertilización y enclamiento en suelos bajo labranza cero. Labranza de conservación en maíz, CIMMYT, México 43-70 pp.
- Buckles, D. and H. J. Barreto 1995. Intensificación de sistemas de agricultura tropical mediante leguminosas de cobertura: Un marco conceptual. XLI Reunion anual del PCCMCA, Tegucigalpa, Honduras, 3/26-4/1/95. 20 p.
- Buckles, D., I. Ponce, G. Sain, and G. Medina 1992. Tierra cobarde se vuelve valiente. Uso y difusión del frijol de abono (*Mucuna deeringianum*) en las laderas del litoral Atlántico de Honduras. CIMMYT, México D.F. 36 p.
- Bunch, R. 1993. What we have learned to date about green manure crops for small farmers. Technical Report, 3, 2a. CIDICCO, Tegucigalpa, Honduras. 1-8 pp.
- Byerlee, D., B. Triomphe, and M. Sébillotte (1991). Integrating agronomic and economic perspectives into the diagnostic stage of on-farm research. *Experimental Agriculture* 27, 95-114.
- Flores, M. (1987). El uso del frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*) por agricultores de la costa norte de Honduras para la producción de maíz, CIDICCO.
- Humphries, S. 1994. Landuse in humid tropical hillsides of Central America: a case study of migrant farmers in the atlantic littoral area of Northern Honduras. Annual Report 1993-1994, CIAT Hillsides Program, Cali, Colombia. pp. 153-216.
- PDBL 1991. Estudio de base del componente agroforestal. Proyecto de Desarrollo del Bosque Latifoliado, Programa Forestal Honduras-Canada, La Ceiba, Honduras.
- Pickett, S. T. A. 1988. Space-for-Time Substitution as an Alternative to Long-Term Studies. In "Long-Term Studies in Ecology. Approaches and Alternatives" (G. E. Likens, ed.), pp. 110-135. Springer-Verlag, New York.
- Schlather, K. and J. Duxbury 1994. Phosphorus dynamics in slash/mulch bean proeduction in Costa Rica. *Agronomy Abstracts*, p. 70.
- Thurston, H. D., M. Smith, G. Abawi, and S. Kearl, eds. 1994. "Tapado. Los Sistemas de Siembra con Cobertura," 329 p. CIIFAD y CATIE, Cornell Univ., Ithaca, NY, USA.
- Triomphe, B. 1996. An exploration of the short- and long-term agronomic performance of the mucuna/maize cropping system in the hillsides of Northern Honduras. Ph.D., Cornell University, Ithaca, NY.
- van Es, H., B. Triomphe, and R. Schindelbeck 1994. Infiltration and run-off under velvetbean-maize on steep hillsides in Honduras. *Agronomy Abstracts*, p. 357.

Caracterización y Variabilidad de Aislamientos de *Thanatephorus cucumeris*, Agente Causal de la Mustia Hilachosa del Frijol Común en Centro América y El Caribe

Graciela Godoy-Lutz¹, J. Arias¹, Julio Nin¹, Freddy Saladin¹ y D. E. Carling²

RESUMEN

La Mustia Hilachosa del Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.) es causada por el hongo basidiomiceto *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk (anamosfo = *Rhizoctonia solani* Kuhn). La enfermedad está distribuida en todas las zonas productoras de frijol en Centro América y el Caribe causando pérdidas en la producción y calidad de granos de variedades de origen Mesoamericano y Andino. El hongo se disemina de manera efectiva por basidiosporas, contacto por micelio de planta a planta, salpique de esclerocios y residuos de cosecha y/o suelo infestado y semillas. Las medidas de control de la enfermedad son ineficientes y costosas sobre todo para los pequeños y medianos productores. Las variedades comerciales que se siembran en la región son susceptibles a la Mustia Hilachosa. El mejoramiento varietal para la resistencia a la enfermedad no ha sido efectivo debido a que se desconoce lo suficiente sobre la variabilidad de este patógeno y los mecanismos de resistencia. El hongo *R. solani* posee una amplia variabilidad genética manifestándose en características morfológicas, culturales, patogénicas, ecológicas y epidemiológicas. La anastomosis del micelio es el criterio utilizado para agrupar los aislamientos del hongo con compatibilidad genética. Los grupos de anastomosis (AG) son considerados como poblaciones genéticamente independientes y su distribución depende de los hospederos predominantes en una zona determinada.

En los últimos años se han observado variabilidad en la reacción de cultivares resistentes en evaluaciones de los Viveros Internacionales, debido a los pocos estudios sobre el patógeno, no se sabe si esto es debido a la variabilidad del patógeno y al medio ambiente, o la interacción entre ambos. Las investigaciones sobre el agente causal de la Mustia Hilachosa en la región ha sido muy limitada y escasa. El propósito de nuestro estudio es:

1. Determinar los grupos de anastomosis de aislamientos del patógeno de Centro América y El Caribe y su distribución en la región.
2. Evaluar su virulencia y patogenicidad de estos aislamientos y su efecto en las estrategias de manejo del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre el otoño de 1993 y la primavera de 1994 se inició la primera fase de la colección de muestras de la parte aéreas de plantas de frijol con síntomas de Mustia Hilachosa en República Dominicana, Panamá, Guatemala, Honduras, Puerto Rico y Cuba. Las muestras fueron transportadas en fundas de papel y procesadas en el laboratorio de fitopatología del Centro de Investigaciones Agrícolas del Surcoeste (CIAS), San Juan de la Maguana.

Porciones de tejido infectado se examinaron microscópicamente y/o colocaron directamente en planchas petri conteniendo medio semiselectivo consistente en 2% de Agar Agua (Difco Co.) al que se añadió 30 1/L de Metalaxyl (Ridomil 2E, 25% a. i) y 60 1/L de sulfato de Estreptomina (1 gr/ml agua dest. estéril). Las placas fueron incubadas a temperaturas de 25-28OC por 48 horas.

Micelio de las colonias con características morfológicas de *Rhizoctonia* fueron transferidas al medio Papa-Dextrosa-Agar (Difco Co.), para confirmación de la especie *R. solani* y otras características culturas (Sneh et. al., 1991). Sub muestras de las aislamientos representativos de las diferentes zonas frijoleras de los seis países se utilizaron para determinar su condiciones nuclear y grupo de anastomosis, otras muestras colectadas posteriormente en Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Guatemala, Honduras y México serán examinadas genéticamente en una segunda etapa, aunque fueron incluidas en los ensayos de virulencia y patogenicidad.

La virulencia de los aislamientos se determinó en plántulas de frijol de los cvs. PC-50 e ICA-PIJAO y

¹Investigadores SEA-PROFRIJOL, Rep. Dom., ²Investigador Universidad de Alaska-Fairbanks, Palmer, Alaska

patogenicidad en raíz cv. CESDA 88 y Soya cv. Kenwood. Las hojas primarias de las plántulas fueron inoculadas con micelio (Godoy et al., 1992) y mantenidas bajo condiciones de humedad >95% y temperatura 25-28°C. Las lesiones se midieron a las 48 horas después de la inoculación del frijol y la soya y a las 72 horas en las de maíz. Cada tratamientos (aislamiento) fue repetido cuatro veces.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El agente causal de la Mustia Hilachosa *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk mostró variabilidad en cuanto a los grupos de anastomosis y sub grupos dentro y entre países. Aún con un número limitado de aislamientos, se encontró una población genéticamente diversa. En países tales como Cuba y Honduras no se había confirmado la presencia del hongo hasta el presente.

Aunque la cantidad de muestras tomadas por país fue suficiente, en muchos casos el aislamiento del hongo no fue posible debido a que las muestras estaban deshidratadas ó fueron afectada por descomposición de las hojas. Sin embargo muchas de las hojas se recibieron en buenas condiciones, pudiéndose observar dos tipos de lesiones. Las lesiones más típicas fueron aquellas en las que se observaron manchas acuosas, extensas y áreas necróticas acompañadas de micelio.

Otras lesiones pequeñas y delimitadas mostraron similitud a aquellas que resultan de infección por basidiosporas. Este tipo de lesión fue observado en muestras de hojas tomadas en Panamá, Rep. Dominicana y Costa Rica. En estos países se ha observado con frecuencia el desarrollo del estado sexual (Gálvez et al., 1989; Godoy-Lutz et al., 1994).

Solo se obtuvieron colonias multinucleadas del estado asexual de *R. solani*. De los 73 aislamientos seleccionados para el estudio genético, 39 fueron asignados al grupo AG-1 con sus respectivos subgrupos y 34 al grupo AG-2-2.

Los aislamientos de AG-2-2 fueron obtenidos de lesiones similares a las causadas por basidiosporas. De los aislamientos pertenecientes a AG-1, 24 fueron clasificados en el subgrupo AG-1-IB tipo macroesclerocio (0.5-2.0 cm) y 13 tipo microesclerocio (< 0.1 cm). Los únicos aislamientos recuperados de lesiones en un campo de Cuba produjo un tipo de esclerocio distintivamente diferente en tamaño (0.2-0.5 cm), forma y textura.

Estos aislamientos fueron clasificados como AG-1-IA (S. Naito, comunicación personal) (Ogoshi, 1987; Sherwood, 1969; Sneh et al., 1991) aislamientos de este subgrupo han sido asociados con el tizón del tallo del arroz en Japón pero no con Mustia Hilachosa del Frijol Común (Ogoshi, 1987).

Las características culturales de los aislamientos de AG-1 y AG-2-2 se mantuvieron estables aún después de transferencias múltiples en medio y reaislamiento de las diferentes inoculaciones.

La caracterización del patógeno que causa la Mustia Hilachosa tiene implicaciones importantes en las estrategias del control de la enfermedad, ya que los diferentes grupos y subgrupos difieren en la ecología y epidemiología (Ogoshi, 1987). En soya y arroz, los tizones foliares son causados por diferentes aislamientos de AG-1IA y AG-1-IB, respectivamente. La diferenciación de estos, aunque causan síntomas similares, fue crítica para establecer la relación densidad de inóculo/incidencia de la enfermedad y para tomar decisiones sobre cultivos de rotación y/o asociados para ambos cultivos. Se determinó que la temperatura óptima, sensibilidad a fungicidas y otras condiciones que favorecieran la supervivencia de propágulos variaba entre estos subgrupos (Jones et al., 1989; Ogoshi, 1987).

En campos frijoleros donde la Mustia Hilachosa es causada por aislamientos de AG-2 ó AG-1-IB (tipo microesclerocio) los propágulos producidos en la parte aérea de la planta y diseminados por el viento tendrían una mayor importancia en el ciclo de vida del patógeno y el desarrollo de epidemias que aquellos distribuidos en el suelo. Por lo tanto, medidas tendientes a reducir la esporulación, crecimiento micelial y desarrollo de microesclerocios en el follaje serían más efectivas que aquellas tendiente a reducir los propágulos en el suelo.

El uso de coberturas es una práctica recomendada para reducir los propágulos en el suelo que se diseminan por medio del salpique causado por lluvias, sin embargo, la misma no ha sido efectiva en algunos países ó zonas donde predomina la fase sexual y la diseminación es más efectiva por vía aérea.

Los aislamientos por país, inoculados en los cultivares de frijol, soya y maíz variaron en cuanto virulencia y patogenicidad. Los aislamientos del grupo AG-1, colectivamente, crecieron más rápido que los de AG-2 a temperaturas de 20, 25 y 30°C y fueron más virulentos en frijol que los de AG-2. Estos resultados

concuerdan con reportes de los campos donde aislamientos de AG-1 incitan síntomas severos de Mustia Hilachosa tales como defoliación rápida e infección de vainas y semillas (Gálvez et al., 1989; Godoy-Lutz et al., 1994).

Todos los aislamientos fueron patogénicos al maíz y produjeron lesiones acuosas. El hongo desarrolló micelio abundante en las plántulas de maíz infectadas cuando fueron mantenidas en cámara húmeda por 72 horas.

Micelio del patógeno asociado con residuos de maíz fue infectado en plántulas de frijol aún después de haber sido mantenido a 10°C por tres semanas. El maíz es un cultivo importante en Centro América y se utiliza como cultivo de rotación en el manejo integrado de la Mustia Hilachosa (Gálvez et al., 1989).

Nuestros estudios sugieren que residuos de maíz, aunque el cultivo no es infectado por el hongo que causa la Mustia Hilachosa del frijol bajo condiciones de campo, pueden servir como reservorio del hongo y como fuente de inóculo primario en las primeras etapas de la enfermedad.

Los estudios sobre la variabilidad de *T. cucumeris* continuarán con un mayor número de aislamientos. Estas investigaciones beneficiarán a fitomejoradores y agrónomos de la región en la búsqueda de fuentes de resistencia y el desarrollo de estrategias de manejo más eficientes.

REFERENCIAS

- Beebe, S. E. and Pastor-Corrales, M. 1991. Pages 561-617 in: Common beans-Research for crop improvement. A. van Schoonhoven and o. Voysest eds. CIAT. Cali, Colombia.
- Cárdenas M.R. 1989. Ph.D Thesis, Cornell University, I Thaca, N. Y.
- Echandi, F. 1965. *Phytopathology* 55:698-99.
- Galindo, J.J., Abawi. G.S., Thurston, H.D., and Gálvez, G. 1983. *Plant Dis* 67:1016-1021.
- Gálvez, G.E. Mora, B. and Pastor Corrales, M.A. 1989. WebBlight. In: Bean Production Problems in the Tropics. H. F. Schwartz and M.A. Pastor Corrales (Eds). CIAT, Cali, Colombia. ó- Godoy, G.A.; Mora, J.R. Steadman and F. Saladin, 1992. *Ann.Rep. Bean Improv. Coop* 35:90-91.
- Godoy, G., J.R. Steadman; J. Arias; y Segura and F. Saladin, 1993. *Ann Rep. Bean Improv. Coop* 37:69-70.
- Godoy-Lutz, G. and J. Arias 1994. Pages 93-102 in: Proceedings of the 3rd. International Workshop on Web Blight of Dry Beans. Nov. 22-26, 1993. Panamá City, Panamá. PROFRIJOL Document 94/2.
- Jones, R.K., and Belmar, S.B. 1989. *Plant Dis* 73:1004-1010.
- Ogoshi, A. 1985. *Fitopathol. Bras.* 10:371-390.
- Ogoshi, A. 1987. *Ann. Rev. Phytopathol.* 25:125-43.
- Sherwood, R.T. 1969. *Phytopathology* 59: 1924-1929.
- Sheh, B., Burpee, L. and Ogoshi, A. 1991. Identificación of *Rhizoctonia* species. APS Press. St. Paul, MN.

Identificación de Razas de *Xanthomonas campestris* pv. *Phaseoli* en Hojas de *Phaseolus Vulgaris*

Mildred Zapata¹

RESUMEN

La bacteriosis o tizón común del frijol constituye una limitante en muchos países de Centro América y el Caribe. Al presente no existen variedades comerciales resistentes al patógeno *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* (*Xcp*). Se ha reportado sobre cultivares de frijol común con inestabilidad en la resistencia y variabilidad en la virulencia de la bacteria, pero casi no se ha estudiado la interacción huésped-patógeno. Para este caso, se coleccionó *Xcp* en Costa Rica, Cuba, República Dominicana y Puerto Rico. Las colecciones se inocularon en genotipos purificados de *P. vulgaris*. La respuesta a la inoculación foliar de *Xcp* mostró la presencia de genotipos útiles en la diferenciación de razas fisiológicas de la bacteria. Por otro lado, también se logró identificar materiales con resistencia a múltiples razas de *Xcp*. Por tanto, se establece la presencia de razas fisiológicas basado en la respuesta foliar de *P. vulgaris* al grupo de la colección de *Xcp* de Costa Rica, Cuba, República Dominicana y Puerto Rico.

La bacteriosis o tizón común es uno de los problemas de mayor importancia en la producción del frijol, *Phaseolus vulgaris* L. en casi todos los países donde se cultiva esta leguminosa. Tiene distribución mundial (Bradbury, 1986). El agente causal de la enfermedad, la bacteria *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* (*Xcp*) (Smith) Dye ataca las hojas de la planta, destruyendo a veces de un 35-40% de ellas (CIAT, 1985), lo cual reduce el área fotosintética de la planta, también puede atacar la vaina y la semilla, lo cual reduce el valor comercial de los frijoles. Las pérdidas en cosecha se han estimado entre 10-45k (Saettler, 1989), causando pérdidas de millones de dólares en muchos países (Vidaver, 1993). Por otro lado, el control es difícil ya que la bacteria es transmitida a través de la semilla

Xcp fue descrita por primera vez en 1897. Aunque se conoce bastante sobre la biología, epidemiología,

rango de huéspedes y otras propiedades (Zaumeier y Thomas, 1957; Schuster y Coyne, 1981) poco se sabe sobre la variabilidad patogénica de la bacteria. El objetivo general de esta investigación es determinar si existe variabilidad patogénica en *Xcp* utilizando colecciones del patógeno provenientes de Centro América y El Caribe.

Identificación del patógeno

El diagnóstico preliminar se basa en síntomas, especialmente de las hojas. Sin embargo, la confirmación requiere identificación del patógeno y otras pruebas. Gilbertson et al. (1989), desarrollaron una sonda de ADN para la identificación de la bacteria basada en una secuencia de un plásmido obtenido de cepas representativas de 50 zonas geográficas. Dicha técnica está siendo evaluada por varios investigadores.

Evaluación para resistencia

Algunas de las dificultades para evaluar resistencia al patógeno son las siguientes: la resistencia de las hojas y vainas se hereda independientemente (Coyne y Shuster, 1983, Park y Dhanvantari, 1987); el largo del día afecta la susceptibilidad de algunos genotipos en ambientes diferentes (Webster et. al; 1983, Saettler, 1989); no existe uniformidad en los métodos de inoculación utilizados; algunos investigadores no han observado la reacción de inmunidad (sin síntomas) en los genotipos de *P. vulgaris* utilizados (Coyne y Shuster, 1983; Park y Dhanvantari, 1987); existen diferencias en virulencia (Shuster y Coyne, 1981, Saettler, 1989) y existen poblaciones epífitas del patógeno (Saettler, 1989; Ishimaru et al., 1991).

Genes de avirulencia

Se han descrito interacciones específicas cultivar-raza caracterizada gene-gene para varias *Xanthomonas spp.* y sus huéspedes. La respuesta de resistencia está controlada por un gene avirulento del patógeno y el gene correspondiente del huésped (Flor, 1955; Ellingboe, 1976). Al presente se han clonado los genes

¹ Bacterióloga. Depto. Protección de Cultivos. Univ. de Puerto Rico. Mayaguez, Puerto Rico.

de avirulencia en *Xc pv. vesicatoria* (Swanson et al., 1988, Wallen et al., 1988; Bonas et al., 1989; Minsavage et al., 1990; Canteros et al., 1991), *Xc pv. malvacearum* (DeFeyter y Gabriel, 1991), *Xc pv. campestris* y *X oryzae sv. oryzae*.

Métodos de inoculación

En el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se ha utilizado la cepa de mayor virulencia para estudios de determinación de resistencia. En 1981, CIAT informó una metodología modificada de las cuchillas impregnadas con bacterias según informada en 1979. Luego de comparar la nueva metodología usando ó cultivares de *Phaseolus vulgaris* concluyeron que dicho procedimiento era mas rápido, fácil de utilizar e uniforme. Sin embargo, no discriminaba dentro de los niveles de resistencia. En 1988, CIAT vuelve y modifica la técnica informada en 1981. Dicha técnica requería luego de la inoculación manual con cuchillas aspersión inóculo en la tarde. otros métodos utilizados para la inoculación envuelven multi-agujas, laceraciones en los tejidos y aspersión a presión con arena impregnada de inóculo (Zapata et al., 1985). Estos últimos permiten una mejor evaluación de diferencias en respuesta a la inoculación del patógeno debido a que el tejido no sufre mucho daño mecánico.

Raza

El concepto de raza se ha utilizado para identificar variación dentro de una especie. Sin embargo este término no se reconoce como una taxa por el Código Internacional de Nomenclatura Botánica (Hawksworth, 1974). La variación intraespecífica se identificó inicialmente en hongos por estudios de especialización patogénica usando diferentes huéspedes (Erikson y Henning, 1896) y subsecuentemente en diferentes genotipos de una misma especie (Barrus, 1911). Después de Stakman, 1914 el concepto raza fisiológica (raza) fue aceptado para tipos especializados a distintos genotipos dentro de una especie.

Líneas diferenciales

Estas entran en dos grupos: diferenciales de un gene y aquellos cuyo número de genes de resistencia se desconoce. Lo mas importante es poder determinar el número de genes de resistencia detectables. Esto es, el número detectable de los fenotipos avirulentos que posee la población del patógeno. Por otro lado, si un

gene de resistencia no es pareado por virulencia, el gene en particular y el cultivar no será útil en revelar la diversidad genética del patógeno, sino que también habrán efectos epistáticos, y otros genes en el cultivar no serán detectados. A veces la resistencia enmascarada puede dar una reacción diferente a la normal. Idealmente cuando se buscan diferenciales aquellos que contienen un solo gene son los mejores para medir diversidad en una población. Cualquier agrupamiento en la distribución de genes de resistencia limita la capacidad del diferencial para detectar diversidad.

Grupo *Xanthomonas campestris* (*Xc*)

Originalmente esta especie estaba restringida al agente causal de la pudrición negra de las crucíferas. Sin embargo, existen otros patógenos muy similares que se encuentran dentro de esta especie designados como patovares. En el grupo de *Xc* se han identificado algunas razas de patovares como:

pv. cerealis (*Hagborg*) *Dye*. Varias razas patogénicas se han descrito. Wallin, diferenció ó razas por reacción en 5 variedades de avena.

pv. oryzae (*Ishiyama*) *Dye*. La especialización patogénica del agente causal del arroz ha sido demostrada en cultivares de arroz que tienen genes específicos para resistencia a la enfermedad (Barton, Willis, 1989). En Japón *Xco* se ha clasificado en o razas en base a las reacciones de cinco cultivares diferenciales con cuatro genes de resistencia individuales o en combinación. En la interacción entre arroz y *Xco*, la respuesta hipersensitiva no se desarrolla (Klement et al., 1982; Parry, 1986) y lo que se considera os el desarrollo de la lesión (Ou, 1985).

pv. malvacearum (*Smith*) *Dye*. La enfermedad causada por esta bacteria es conocida como mancha angular de la hoja, pero puede presentar síntomas de pudrición y necrosamiento en la planta de algodón. Afecta cotiledones, hojas, y tallos.

La interacción diferencial entre razas y cultivares resistentes se ha esclarecido y la variación de virulencia se ha analizado genéticamente. Hay dos tipos de algodón: diploide y tetraploide. Estos tipos contienen muchas especies y cada especie tiene respuestas inmune, resistentes, tolerantes y susceptibles.

La resistencia vertical del algodón a la enfermedad esta determinada por 16 genes de resistencia. Por otro lado, la resistencia horizontal está controlada por un complejo de poligenes.

pv. phaseoli (Smith) Dye. *Xcp* y la variante *Xcp* (*fuscans*) inducen síntomas en hojas, tallos, vainas y semillas (Zaumeier y Thomas, 1957; Saettler, 1989, 1991). Se informó variación patogénica en *Xcp* y *Xcp fuscans* basado en ó cultivares de *Phaseolus vulgaris* (Ekpo y Saettler, 1977). Las plantas en la etapa reproductiva fueron mas susceptibles a una de las cepas. Zapata et al. (1985), encontraron reacciones específicas entre *Xcp* y genotipos de *Phaseolus vulgaris* que fueron evaluados para resistencia al patógeno.

Se han identificado 7 razas de *Xcp*, cinco de ocurrencia natural y 2 inducidas químicamente mediante la utilización de *Phaseolus acutifolius* L. como planta diferencial (Zapata y Vidaver 1987; Zapata, 1989). Freytag (1989), describió en *P. acutifolius* un gene dominante para resistencia a tres cepas de *Xcp*.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Identificar las razas de *Xcp* prevalecientes en los países de Centro América y El Caribe.
2. Identificar los genotipos de *Phaseolus vulgaris* con potencial diferencial de la bacteria *Xcp*.
3. Identificar genotipos de *Phaseolus vulgaris* con altos niveles de resistencia a múltiples razas de *Xcp* (prevalecientes en la región de Centro América y El Caribe).

MATERIALES Y METODOS

Identificación de las razas de Xcp prevalecientes en la región

Se coleccionó material de frijol infectado con *XCP* en noviembre de 1993 en Costa Rica (924 y 931), Cuba (957 y 958), República Dominicana 872 y Puerto Rico (974, 975, 980 y 981). Se realizaron los procedimientos necesarios de aislamiento y purificación. Cada aislamiento se inoculó en plantas indicadoras de patogenicidad, o sea, genotipos susceptibles a *Xcp*. Para determinar la presencia de razas, genotipos diferenciales, y genotipos resistentes a múltiples razas se inoculó cada aislamiento bacteriano en tres sitios diferentes a un lado de la hoja y el otro lado de la hoja se inoculó de igual forma, pero sin

bacteria, dejando tres sitios de la hoja como control e indicador del daño mecánico.

Identificación de genotipos con potencial diferencial

La primera fuente de genotipos utilizados para evaluar a nivel de invernadero consistió de 120 genotipos de *Phaseolus vulgaris* pertenecientes al Vivero de Fuentes de Resistencia de Centro América. Dicho vivero fue obtenido del Dr. Federico Rodríguez de la Secretaría de Recursos Naturales, en Danlí, Honduras. Dentro de este vivero hay materiales seleccionados para los proyectos de Apion, Mosaico Dorado, Antracnosis, Bacteriosis, Empoasca. Rendimiento Baja fertilidad, Precocidad Mancha angular, y otros. Los materiales se sembraron en tres replicados utilizando la mezcla de suelo comercial (Sunshine 1) y se irrigaron por un sistema de riego por goteo. Las plantas se inocularon en la hoja trifoliada a los 21 días, utilizando una punta de pipeta y cultivos de *Xcp* de 24 horas crecidos en agar nutritivo. Los datos se tomaron a los 14 y 21 días después de la inoculación. La escala utilizada varió de 1-5 siendo, 1=resistente y 5 = altamente susceptible.

Identificación de genotipos de P. vulgaris con resistencia a múltiples razas de Xcp

Se evaluaron los genotipos resistentes a bacteriosis común (WBB-35, W-BB-11, W-BB-20, W-BB-52, W-BB-56) liberados en Puerto Rico en 1991 (Zapata et al., 1991), Great Northern No.1, Sel 27, y la línea comercial Great Northern (utilizada en la zona templada). También fueron evaluadas líneas derivadas de cruces interespecíficos y las variedades de Guatemala: ICTA-Ostua, Chapina y Santa Gertrudis. El propósito de la evaluación fue seleccionar genotipos de mayor o igual resistencia al Great Northern No.1 Sel 27 ya que este genotipo representa una de las fuentes de resistencia mas importantes reconocidas al presente.

Durante el primer ensayo se realizaron selecciones de plantas individuales, bajo condiciones de invernadero para purificar la semilla. Por otro lado, algunos materiales se descartaron debido a la propensidad a enfermedades de la raíz causada por hongos. Se ha continuado con la purificación de semilla mediante el incremento de semillas de plantas individuales para proceder con la evaluación de otros aislamientos.

Sin embargo en algunos casos la semilla cosechada no resultó suficiente para hacer todas las evaluaciones que se presentan en los cuadros de los resultados.

RESULTADOS

Identificación de las razas de *Xcp* prevalentes en la región

Se logró coleccionar, aislar y purificar algunos aislados de *Xcp* representativos de los países de Centro América y El Caribe. Se determinó la patogenicidad para todos los cultivos antes de ser utilizados para los experimentos de diferenciación de razas, genotipos diferenciales y genotipos con resistencia a múltiples razas.

Identificación de genotipos con potencial diferencial

Mediante la evaluación de los 120 genotipos de *P. vulgaris* con *Xcp* de Puerto Rico 484a, República Dominicana 872 y Costa Rica 924 se identificaron por lo menos 7 genotipos con potencial diferencial de las colecciones de bacteria arriba mencionadas (Cuadro 1). Al mismo tiempo dichos genotipos evidencian que las colecciones de *Xcp* de Puerto Rico 484a, República Dominicana 872 y Costa Rica 924 son específicos en patogenicidad a genotipos de la especie vulgaris, por lo cual representan razas fisiológicas de la bacteria.

En 1994 se diferenciaron 5 respuestas de interacción a las colecciones de República Dominicana 872, Costa Rica 924, y Cuba 957 y 958 (Cuadro 2). De acuerdo a las respuestas de resistencia y susceptibilidad de 17 genotipos se determinaron las siguientes patrones de interacción: *RRSS*, *SRSS*, *RSSR*, *RRRR* y *SSSS*, respectivamente. Por otro lado, se identificaron 3 grupos de diferenciales que fueron funcionales para identificar las *Xcp* probadas.

Los resultados del experimento de evaluación de las colecciones de *Xcp* de Puerto Rico 974, 975, 980, y 981 mostraron o patrones de interacción: *SSRS*, *SSSR*, *RRRR*, *SRSR*, *SRSS*, y *SSSS* con 4 grupos de plantas diferenciales (Cuadro 3).

La evaluación de las colecciones de *Xcp* de Costa Rica 931 y 924 mostraron 3 patrones de interacción:

SS, *RR*, y *RS* y se separó 1 grupo de plantas diferenciales para estas razas (Cuadro 4).

La evaluación de la colección de *Xcp* de Cuba 957 y 958 mostró 3 patrones de interacción (*SS*, *RR*, y *SR*), respectivamente. Se encontró un solo genotipo funcional como diferencial (Cuadro 5).

Cuadro 1. Variabilidad patogénica de *Xanthomonas Campestris* pv. *Phaseoli* en diferentes genotipos de frijol común.

Genotipos	Origen de Bacteria		
	Puerto Rico 484 a	Rep. Dom. 872	Costa Rica 924
Amarillo 154	4.00	1.00	1.00
Negro 150	3.33	1.00	1.00
A 673	3.00	3.00	1.00
Jalo EEP	3.33	1.00	1.00
Mar 3	1.00	3.00	1.66
AFR 362	1.00	1.00	3.00
AFR 603	1.00	1.00	3.00

Escala de severidad: 1 = resistente, 2 = leve susceptible, 3 = moderada susceptibilidad, 4 = susceptible, 5 = alta susceptibilidad.

Cuadro 2. Genotipos de *Phaseolus vulgaris* diferenciales de *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* coleccionadas en República Dominicana, Costa Rica y Cuba.

<i>P. vulgaris</i>	<i>X. campestris</i> pv. <i>Phaseoli</i>			
	Rep. Dom 872	C. Rica 924	Cuba 957	Cuba 958
a. Negro 150	1.00	1.00	5.00	5.00
Pinto 168	1.00	1.00	5.00	5.00
Pef 9	1.00	1.00	5.00	5.00
Jalo EEP	1.00	1.00	5.00	5.00
Mug 139	1.00	1.00	5.00	5.00
A 285	1.33	1.00	5.00	5.00
Amarillo 154	1.16	1.00	5.00	5.00
Ara 14	1.00	1.50	5.00	5.00
Puebla 36	1.66	2.33	5.00	5.00
ICA L24	1.00	1.00	4.00	5.00
	R	R	S	S
b. de Celaya	3.00	1.00	5.00	5.00
A 673	3.00	1.00	5.00	5.00
Mar 3	3.00	1.66	3.66	3.33
	S	R	S	S
c. AFR 362	1.00	3.00	5.00	
PEF		3.00	5.00	2.00
	R ²	S	S	R ²
d. A 774	1.66	1.00	2.00	2.00
	R	R	R	R
e. Perillo Sint.	5.00	4.00	5.00	5.00
	S	S	S	S

Cuadro 3. Diferenciación de razas de *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* coleccionadas en Puerto Rico.

<i>P. vulgaris</i>	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Phaseoli</i>			
	P.R. 974	P.R. 975	P.R. 980	P.R. 981
Colorado Teopisca	5.00	5.00	1.33	4.44
	S	S	R	S
Pecho Amarillo G-2959	5.00	5.00	5.00	1.33
Ahumados de Chiripo 2 G-3991	4.33	5.00	5.00	1.00
	S	S	S	R
RxAH-18274-C	1.11	1.00	1.22	1.05
Jutiapa L-8161	1.33	1.33	1.00	1.00
Mar 2	1.38	1.00	1.33	1.00
	R	R	R	R
NY 79-3755-2	5.00	1.00	5.00	1.00
Mug 132	5.00	1.00	5.00	1.16
	S	R	S	R
Mug 133	5.00	1.00	5.00	5.00
Mug 139	5.00	1.00	5.00	5.00
México 309	5.00	1.00	5.00	5.00
	S	R	S	S
Amarillo 154	5.00	4.77	5.00	5.00
Pinto 168	5.00	5.00	5.00	5.00
De Celaya	5.00	5.00	5.00	5.00
	S	S	S	S

Cuadro 4. Reacción de algunos genotipos a *Xanthomonas campestris* pv. *Phaseoli* coleccionadas en Costa Rica.

Phaseolus	Reacción	X. camp. 931	pv. phaseoli 924
	Susceptible	S	S
ICTA CHAPINA		5.00	4.55
I-CB-6		4.00	5.00
	Resistente	R	R
W-BB-35		1.11	2.00
W-BB-11		1.44	1.22
ICB-67		1.88	2.33
	Diferencial	R	S
ICB-66		1.44	4.00
STA.		2.11	4.55
GERTRUDIS			
	Media	2.90	3.36
	CV	14.86	11.74

Identificación de genotipos con resistencia a múltiples razas

Se identificaron 4 genotipos con resistencia a las razas de *XCP* de Puerto Rico 484a, República Dominicana 872 y Costa Rica 924 (Cuadro 6). Se identificaron 5 genotipos de *P. vulgaris* resistentes a las colecciones de *Xcp* de República Dominicana 872, Costa Rica 924, Cuba 957 y 958 que compararon o superaron la respuesta de Great Northern No. 1, Sel 27 (Cuadro 7).

Cuadro 5. Reacción de algunos genotipos a *Xanthomonas campestris* pv. *Phaseoli* de Cuba.

Phaseolus	Reacción (%)	X. camp. 931	pv. phaseoli 924
	Suscep. (95%)	S	S
Puebla 36		5.00	5.00
Amarillo 154		5.00	5.00
	Resist. (4%)	R	R
Emp. 342		1.66	2.00
A774		2.00	2.00
ARA-9		2.33	3.33
			(MR)
RAZ 50		1.66	3.00
	Dif. (1%)	S	R
PEF 14		5.00	2.00
	Media	4.43	4.55
	CV	3.62	4.05

Cuadro 6. Determinación de genotipos de *Phaseolus vulgaris* resistentes a *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* (*Xcp*).

Genotipo	Origen <i>Xcp</i>		
	Puerto Rico 484a	Rep. Dom. 872	Costa Rica 924
Puebla 36	1.66	1.66	1.66
XAN 159	1.00	1.00	1.00
PEF 9	1.00	1.00	1.00
ICA L24	1.33	1.00	1.00

Escala de severidad: 1 = resistente, 2 = leve susceptibilidad, 3 = moderada susceptibilidad, 4 = susceptible, 5 = alta susceptibilidad.

Cuadro 7. Determinación de genotipos de *Phaseolus vulgaris* resistentes a *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* (*Xcp*).

<i>P. vulgaris</i>	<i>XCP</i>			
	Rep. Dom 872	Costa Rica 924	Cuba 957	Cuba 958
XAN 159	1.001	1.00 m		2.00 f
NY 79-3939-1	1.001	1.00 m	2.33 e	
A774	1.66 JKL	1.00 m	2.00 f	2.00 f
RAZ 50	1.66 JKL	2.00 hijk	1.66 g	3.00 e
L-81-61 JUT.	1.001	2.00 hijk	1.00 h	
GREAT N.				
No. 1 SEL 27	1.011	2.00 hijk	3.00 d	3.00 e

DISCUSION

Durante el 1993 se inició la colección de *Xcp* en distintos países de Centro América y El Caribe con el fin de estudiar la variabilidad patogénica de *Xcp*. La metodología utilizada inoculando aislamientos

distintos en plantas bajo condiciones de invernadero provee condiciones que evitan efectos sinérgicos o antagónicos con otras bacterias. La presencia de razas o variantes patogénicas en el grupo *Xcp* se ha demostrado utilizando la especie *P. acutifolius* (Zapata y Vidaver, 1987; Zapata, 1989). Aunque se habían observado reacciones específicas a *Xcp* en algunos genotipos de frijol (Zapata et al., 1985) no se había profundizado como en el presente estudio para documentar la presencia de razas fisiológicas con la especie. La determinación de razas mediante el uso de *Phaseolus vulgaris* presenta un cuadro diferente de especificidad patogénica. Esta envuelve la reacción de inmunidad (no síntomas) versus susceptibilidad la cual no se había oficializado hasta el presente.

La interacción patogénica de las diferentes razas detectada en algunos genotipos de *P. vulgaris* explica la inestabilidad de la resistencia de algunos genotipos cuando se siembran en países diferentes donde pueden existir razas distintas de la bacteria (Figuras 1 y 2). Los resultados obtenidos establecen la presencia de razas fisiológicas dentro del grupo de la colección de *Xcp* de Costa Rica, Cuba, República Dominicana y Puerto Rico. Además quedó establecida la existencia de genotipos de *P. vulgaris* útiles en la diferenciación de *Xcp*. Dichos genotipos abren un campo de investigación hacia la determinación del número de genes envueltos en la resistencia a *Xcp* en los genotipos de *P. vulgaris*.



Figura 1. Hoja trifoliada que presenta el foliolo izquierdo con respuesta de resistencia a *Xcp* de República Dominicana 872, foliolo central con susceptibilidad a *Xcp* de Costa Rica 931 y foliolo derecho que representa el control con una respuesta de resistencia o no síntomas. Los foliolos fueron inoculados con bacteria en el lado derecho con excepción del control donde aparece el daño mecánico en ambos lados de la hoja.



Figura 2. Hoja trifoliada que presenta el foliolo izquierdo con respuesta de susceptibilidad a *Xcp* República Dominicana 872, foliolo central con susceptibilidad a *Xcp* de Costa Rica 931 y foliolo derecho que representa el control con una respuesta de resistencia o no síntomas. Los foliolos fueron inoculados con bacteria en el lado derecho con excepción del control donde aparece el daño mecánico en ambos lados de la hoja.

Por otro lado, se han identificado genotipos con resistencia amplia a las colecciones de *Xcp* estudiadas. Estos genotipos tienen mucho valor en programas de fitomejoramiento para la incorporación de resistencia a múltiples razas de *Xcp*.

REFERENCIAS

- Banus, M.F. 1911. Variation of varieties of beans in their susceptibility to anthracnose. *Phytopathology*. 1: 190-195.
- Bonas, U., Stall, R.E. y Staskawicz, B. 1989. Genetic and structural characterization of the avirulence gene *avr Bs3* from *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. *Molecular and General Genetics*. 218: 127-136.
- Bradbury, J.F. 1986. Guide to plant pathogenic bacteria. CAB International Farnham House, Farnham Royal, UK.
- Canteros, B., Minsavage, G. Bonas, U., Pring, D., y Stall, R. 1991. The cloning and characterization of a gene from *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* that determines avirulence in tomato. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 4: 628-632.
- CIAT 1981, 1985, 1988. Informe Anual.
- Coyne, D.P. y Schuster, M.L. 1983. Genetics of and breeding for resistance to bacterial pathogens in vegetables crops. *Hortscience* 18: 30-36.
- DeFeytir, R. y Gabriel, D.W. 1991. At least six avirulence genes are clustered on a 90-kilobase plasmid in

- Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum*. Molecular Plant-Microbe Interactions. 4: 423-432.
- Ekpo, E.J., y Saettler, A.W. 1976. Pathogenic variation in *Xanthomonas phaseoli* and *Xanthomonas phaseoli* var. *fuscans*. Plant Disease Rep. 60: 80-83.
- Ellingboe, A.H. 1976. Genetics of host-parasite interactions, In: Encyclopedia of Plant Pathology, New Series, Vol. 4, Physiological Plant Pathology (eds. R. Heitefuss y P.H. Williams), Springer-Verlag, New York, pp. 761-778.
- Erikson, J. y Henning, E. 1896. Die Getreideroste. Norstedt, Stockholm.
- Flor, H.H. 1955. Host-parasite interaction in flax rust its genetics and other implications. Phytopathology. 45: 680-685.
- Freytag, G.F. 1989. Inheritance of resistance to three strains of common bacterial blight (*Xanthomonas campestris*) in the cultivated Tepary bean (*Phaseolus acutifolius* var. *latifolius*) Bic 32: 101-102.
- Gilberstson, R.L., Maxwell, D.P., Hagedorn, D.T. y Leong, S.A. 1989. Development and application of a plasmid DNA probe for detection of bacteria causing common bacterial blight of bean. Phytopathology. 79: 518-525.
- Hawksworth, D.L. 1974. Mycologists Handbook. Common wealth Mycological Institute, Kew. Ishimaru, C., Eskridge, K.M. y Vidaver, A.K. 1991. Distribution analysis of naturally occurring epiphytic populations of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* on dry beans. Phytopathology. 81: 262-268.
- Klement, Z., Farkas, G.L., y Loverekovich, L. 1982. Hypersensitivity. Pages 149-177 in: Phytopathogenic pRo caryotes. M.S. Mount and G.H. Lacy, eds. Academic Press, New York.
- Minsavage, G.V., Dahlbeck, D., Whalen, M.C. et.al., 1990. Gene for gene relationships specifying disease resistance in *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* - pepper interactions. Molecular Plant-Microbe interactions. 3: 41-47.
- Ou, S.H. 1985. Rice Diseases. Commonwealth Mycology Institue, Kew, Survey England.
- Park, S.J. y Dhanvantari, B.N. 1987. Transfer of common blight (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*) resistance from *Phaseolus coccineus* Lam. to *Phaseolus vulgaris* L. through interspecific hybridization. Canadian Journal of Plant Sciences. 67: 687-695.
- Parry, R.W.H., y Callow, J.A. 1986. The dynamics of homologous and heterologous interactions between rice and strains of *Xanthomonas campestris*. Plant Pathology. 35: 380-389.
- Saettler, A.W. 1989. Common bacterial blight in bean production problems in the tropics. Segunda Edición (Ed. H.F. Schwartz y M.A. Pastor-Corrales). Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. pp. 261-283.
- Schuster, M.L. y Coyne, D.P. 1981. Biology, epidemiology genetics and breeding for resistance to bacterial pathogens of *Phaseolus vulgaris* L. Horticultural Reviews. 3: 28-58.
- Stakman, E.C. 1914. A study in cereal rust. Physiological races. Minnesota Agricultural Experimental Station. Bulletin 138.
- Swanson, J., Kearney, B., Dahlbeck, D. y Staskawicz, G. 1988. Cloned avirulence gene of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* complements spontaneous race change mutants. Molecular Plant-Microbe Interaction. 1: 5-9. 1 n
- Vidaver, A.K. 1993. *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* : Cause of common bacterial blight of bean In: *Xanthomonas* (eds. J.G. Swings y E.L.) Civerolo, Chapman and Hall, New York, USA. p. 40-44.
- Webster, D.M., Temple, S.R. y Galvez, G. 1983. Expression of resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* in *Phaseolus vulgaris* under tropical conditions. Plant Disease. 67: 394-396.
- Whallen, M.C., Stall, R.E. y Staskawicz, B.J. 1988. Characterization of a gene from a tomato pathogen determining hypersensitive resistance in non host species and genetic analysis of this resistance in bean. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA. 85: 6743-6747.
- Zapata, M. 1989. Host pathogen interaction of the tepary bean, *Phaseolus acutifolius* with the common bean pathogen, *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*. Ph.D. Dissertation. Univ. of Nebraska.
- Zapata, M. y Vidaver, A.K. 1987. Differentiation of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* into pathogenic races based on the tepary bean reactions. Phytopathology 77:1709.
- Zapata, M., Freytag, G.F. y Wilkinson, R.E. 1985. Evaluation for bacterial blight resistance in beans. Phytopathology. 75: 1032-1039.
- Zapata, M., Wilkinson, R., Freytag, G.F., Vélez, H., Ortíz, F.H., y López-Rosa, J.H., 1991. Incorporating resistance to *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* into bean using the latent period as a resistance marker. J. Agric. Univ. P.R. 75.4(345-352).
- Zaumeyer, W.J. y Thomas, H.R. 1957. A monographic study of bean diseases and methods for their control. United States Department of Agriculture Technical Bulletin 868. 255pp.



