



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

PRM

SINTESIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES 1992

Editores Técnicos:

Jorge Bolaños, Gustavo Saín, Róger Urbina y Héctor Barreto



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

SINTESIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES 1992

Editores Técnicos:

Jorge Bolaños, Gustavo Saín, Róger Urbina y Héctor Barreto

**CIMMYT-PRM
Guatemala, Diciembre 1993**

El Programa Regional de Maíz (PRM) para Centro América y El Caribe es una red de investigación con énfasis en el desarrollo de germoplasma mejorado y el manejo agronómico del cultivo del maíz. La red está constituida por 9 Programas Nacionales de Investigación Agrícola (PNIA's) del área de Centro América y El Caribe y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Programa Regional de Maíz incluye actualmente los países de Costa Rica, Cuba, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Nicaragua, Panamá y República Dominicana. El PRM tiene su origen en 1975, cuando el Programa Regional de CIMMYT para Centro América y El Caribe, inició la evaluación y selección de germoplasma de maíz en colaboración con los Institutos de Investigación de los países. El Programa Regional de Maíz está actualmente conformado por tres comités y una oficina regional. El **Comité Regional Permanente** (CRP) conformado por los coordinadores de los programas de maíz de cada uno de los países y el CIMMYT; el **Comité Técnico** (CT) conformado por el personal científico del CIMMYT y los distintos líderes y colíderes de los distintos proyectos colaborativos; son los encargados de aprobar el contenido técnico de las actividades y proyectos del PRM; el **Comité de Arbitraje** (CA), órgano que solamente se utilizará para resolver conflictos de orden mayor y está conformado por un representante de COSUDE, uno de CIMMYT y un el presidente del CRP; El **Coordinador Regional** (CR) administra a tiempo completo al PRM y es responsable de darle seguimiento y velar por el cumplimiento de las actividades contempladas y aprobadas en los POA's anuales. El Ing. Róger Urbina cumple actualmente esta función. La **Cooperación Suiza al Desarrollo** (COSUDE) es la agencia que proporciona el financiamiento del PRM en su fase actual.

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) es una institución internacional de investigación científica y capacitación, sin fines de lucro. Desde su sede México opera en 20 otras localidades a través del tercer mundo, el centro opera un programa global de mejoramiento de maíz, trigo y triticale. También investiga aspectos económicos relacionados a estos cultivos y da apoyo a más de 100 Programas Nacionales de Investigación Agrícola (PNIA) responsables por estos cultivos en los países en desarrollo. El CIMMYT es una de los 13 Centros de Investigación Agrícola Internacional (IARC) patrocinados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR), el cual es co-patrocinador por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y las Naciones Unidas, el Banco Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP). El CGIAR es un consorcio de más de 40 países donantes, organizaciones internacionales y fundaciones privadas.

El Programa Regional de Maíz (PRM) es el único responsable de esta publicación.

Cita correcta: Jorge Bolaños, Gustavo Sain, Róger Urbina y Héctor Barreto (Editores), Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4 (1993), CIMMYT-PRM, Guatemala.

ISBN: 968-6923-17-9

Descriptor AGROVOC: Zea mays; germoplasma, híbridos, variedades, ensayos de variedades, selección, resistencia a agentes dañinos, producción, factores de rendimiento, análisis económico, adopción de innovaciones.

Códigos de categoría AGRIS: F30, E10.

Clasificación decimal Dewey: 631.523.

Impreso en Guatemala.



PROGRAMA REGIONAL DE MAIZ PARA CENTRO AMERICA Y EL CARIBE

PRM

La **Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992** presenta los resultados más sobresalientes del Programa Regional de Maíz (PRM) para Centro América y El Caribe durante 1992. El PRM es una red colaborativa de investigación con énfasis en el desarrollo de germoplasma mejorado, en la generación de tecnologías para un manejo agronómico sostenible del cultivo del maíz y la evaluación de adopción e impacto de las tecnologías generadas. La red está conformada por 9 programas nacionales de investigación agrícola y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y es financiada por la Cooperación Suiza al Desarrollo (COSUDE).

Este ejemplar representa el volumen 4 de la publicación conocida como el Libro Gris, una serie que se viene publicando 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. Sobre decir que el producto de estas investigaciones pertenece a todos y cada uno de los participantes del PRM.

Este volumen contiene 42 trabajos agrupados en 5 secciones: **1) Desarrollo, mejoramiento y evaluación de germoplasma de maíz**, con 18 trabajos que reportan los avances en estudios de progreso genético y el desarrollo de híbridos y variedades de maíz con tolerancia a sequía, achaparramiento y pudrición de mazorca. **2) Evaluación de tecnologías para el manejo sostenible de los sistemas de producción de maíz**, con 7 trabajos sobre la respuesta del maíz a la inserción de leguminosas intercaladas, a la labranza de conservación y a la fertilización con fósforo y azufre. **3) Análisis económico de las alternativas tecnológicas** (estudios *ex-ante*), con 7 trabajos sobre la rentabilidad de la inserción de leguminosas en diversos sistemas de producción de maíz y estudios de aceptación de nuevos híbridos. **4) Estudios de diagnóstico, adopción e impacto** (estudios *ex-post*), con 6 trabajos, incluyendo estudios de diagnóstico agronómico, la industria de semillas y de fertilizantes, el mercado de rastrojo y la oferta tecnológica. **5) Estudios metodológicos**, con 4 trabajos incluyendo un material de capacitación, usos de modelos de simulación en maíz y la descripción de un paquete de software estadístico.

El contenido de cada trabajo es responsabilidad de los autores respectivos, pero bajo la edición técnica de Jorge Bolaños, Gustavo Saín, Róger Urbina y Héctor Barreto. Estos son, respectivamente, Agrónomo y Economista Regionales de CIMMYT para Centro América y El Caribe, Coordinador Regional del PRM, y Agrónomo de Maíz de CIMMYT en México. La edición final, diseño y formateo estuvo a cargo de Jorge Bolaños y el personal de apoyo de la oficina de CIMMYT-PRM en Guatemala, Miriam Hernández y Edith Tello.

Esta publicación se terminó de imprimir en Diciembre de 1993 en Guatemala con un tiraje de 1000 ejemplares. Su distribución es gratuita.

CONTENIDO

DESARROLLO, MEJORAMIENTO Y EVALUACIÓN DE GERMOPLASMA DE MAÍZ

Impacto del Desarrollo de Híbridos de Maíz en Centro América: Confiabilidad de las Ganancias en Rendimiento Sobre el Genotipo H5 y Consideraciones para Selección de Testigos Regionales. H. Córdova, H. J. Barreto y J. Crossa.	3
Bases Fisiológicas del Progreso Genético en Cultivares del PRM. Jorge Bolaños.	11
Respuesta a Densidad en Cultivares del PRM. J. Bolaños, M. Obando, R. Urbina y M. Mendoza.	20
Evaluación de Híbridos de Grano Blanco y Amarillo de Maíz (<i>Zea mays</i> L.) en Ambientes de Centro América y México. Róger Urbina.	27
Evaluación de Cultivares de Maíz de Grano Amarillo en 13 Localidades de Panamá, 1992-1993. A. Alvarado, I. Camargo, D. Pérez, A. González, N. de Gracia, J. Ruiz, M. Moreno, E. Quiróz, C. Herrera y R. Gordón.	39
Evaluación de las Diferencias de Rendimiento entre Híbridos y Variedades de Maíz (<i>Zea mays</i> L.) en Cuba. Cecilio Marcos Torres y Arnaldo Rodríguez.	44
Predicción de Híbridos de Maíz de Grano Blanco a Partir de Cruzas Dialélicas en Seis Ambientes de Centro América. L. Larios, S. Castellanos, J.L. Quemé y C. Pérez.	47
Evaluación de Cruces Dialélicos y Estimación de Aptitud Combinatoria de Diez Líneas de Maíz de Grano Amarillo. S. Castellanos, J.L. Quemé, M. Fuentes, L. Larios y C. Pérez.	53
Selección de Líneas de Grano Blanco de Maíz (<i>Zea mays</i> L.) a través de Seis Localidades en Centro América, 1992. J.L. Quemé, C. Pérez, M. Fuentes, L. Larios y S. Castellanos.	57
Evaluación de Líneas de Maíz de Grano Amarillo en Seis Ambientes de Centro América. C. Pérez, L. Larios, J.L. Quemé, M. Fuentes y S. Castellanos.	61
Selección para Tolerancia a Sequía en Tuxpeño C6 x BS-19 a través de Cuatro Niveles de Estrés en Centro América. L. Brizuela, J.L. Zea, A. Aguiluz, T. Dubón y J. Bolaños.	63
Estabilidad y Reacción al Achaparramiento de Cultivares de Maíz a través de Seis Ambientes de Centro América. R. Urbina, M. Obando, A. Aguiluz y A. Alvarado.	67
Reacción de Familias de Hermanos Completos de la Población 76 al Achaparramiento del Maíz. Marvin Obando y Róger Urbina.	73
Mejoramiento Genético del Ciclo 4 de la Población 36 para Resistencia al Achaparramiento. J. Ortiz, F. Navarro y R. Celado.	76
Mejoramiento Genético de las Poblaciones 36 y CESDA-88 para Resistencia al Achaparramiento, 1992-1993. José Ortiz y Félix Navarro.	79
Evaluación y Mejoramiento de Cultivares Amarillos de Maíz (<i>Zea mays</i> L.) para Achaparramiento. J. Ortiz, F. Navarro, R. Celado, R. Pierre y F. Guerra.	82

Evaluación del Tercer Ciclo de Selección Recurrente en dos Poblaciones de Maíz (*Zea mays* L) para Tolerancia a Pudrición de Mazorca. A.L. Pixley, C. Calderón, C. Salas y K. Jiménez. 85

Evaluación de Nueve Variedades Sintéticas bajo Mejoramiento para Pudrición de Mazorca en Once Localidades de Centro América. C. Calderón, L. Pixley, K. Jiménez y C. Salas. 89

EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ

Respuesta del Maíz a la Siembra Intercalada con Canavalia a Distintas Epocas y Densidades. G. López, J.L. Zea, M. Fuentes, J. Pérez, R. Gordón, C. Mendoza y J. Bolaños. 97

Asocio de Maíz con Canavalia a Distintas épocas y Arreglos de Siembra en Azuero, Panamá, 1992-93. R. Gordón, N. de Gracia, J. Franco, A. González y J. Bolaños. 102

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. R. Gordón, J. Franco, N. de Gracia, L. Martínez, A. González, A. de Herrera y J. Bolaños. 106

Respuesta del Maíz al Asocio con Mucuna en Yoro, Honduras, 1992. G. López, S. Rivera, S. Lozano, S. de Licona y J. Bolaños. 111

Respuesta del Sistema Maíz-Maicillo y Maíz-Frijol a Distintos Niveles de Mantillo bajo Labranza de Conservación. Heriberto Sosa y Jorge Bolaños. 114

Respuesta Diferencial del Maíz a la Labranza de Conservación a Distintas Dosis de Nitrógeno .H. Sosa, J. Pérez, J.L. Zea, M. Fuentes, G. López y J. Bolaños. 119

Respuesta del Cultivo de Maíz a la Aplicación de Fósforo y Azufre en la región de Azuero, Panamá, 1989-1992. R. Gordón, N. de Gracia, A. González, J. Franco, A. de Herrera y W. Raun. 124

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

Estudio de Pre-Aceptación del Híbrido de Maíz H-57 a Nivel Nacional entre los Cooperadores de Validación de 1991. Tito Montenegro y Eric Borbón 141

Rentabilidad del Sistema de Abonera en el Litoral Atlántico de Honduras. G. Sain, I. Ponce y E. Borbón. 146

Factibilidad Económica de Intercalar una Leguminosa en el Sistema Maíz-Frijol Predominante en Opico-Quezaltepeque, El Salvador. C. Choto de Cerna, T. Montenegro, G. Saín y E. Borbón. 157

Análisis Económico de Introducir una Leguminosa en el Sistema de Producción de Maíz en el Municipio de San Diego, Zacapa, Guatemala. Carlos Valladares y Gustavo Saín. 163

Análisis Económico a la Aplicación de Nitrógeno en Maíz en Rotación con Leguminosas bajo dos Tipos de Labranza, Río Hato, Panamá, 1992-93. A. P. de Herrera, R. Gordón, J. Franco, N. de Gracia, L. Martínez, A. González y G. Saín. 167

Evaluación Económica del uso de Rastrojo de Maíz en Asocio con *Canavalia ensiformis*, Azuero, Panamá, 1992-93. A. P. de Herrera, D. Herrera, R. Gordón y G. Sain. 170

Evaluación Bioeconómica del uso de Rastrojo de Maíz en Asocio con *Canavalia ensiformis*, Azuero, Panamá, 1992-93. D. Herrera, A. P. de Herrera, B. Guerrero, O. Vergara y R. Gordón. 176

ESTUDIOS DE DIAGNÓSTICO, ADOPCIÓN E IMPACTO

Dinámica y Variabilidad de los Componentes de Rendimiento en 28 Campos de Maíz en Centro América. J. Bolaños, J. Pérez, J.L. Zea, J.L. Quemé, M. Fuentes, C. Mendoza y G. López. 187

Cambio Tecnológico e Investigación en Fincas en el Departamento de Atlántida, Honduras. Gustavo Saín y Reina Matute. 198

Análisis del Mercado de Rastrojo y sus Implicaciones para la Adopción de la Labranza de Conservación en El Salvador. C. Choto de Cerna y G. Sain. 212

Diagnóstico de la Industria de Semilla Certificada de Maíz en Centro América. Carlos Valladares y Gustavo Sain. 223

Caracterización del Mercado de Fertilizantes en Guatemala. Carlos Valladares. 230

Situación del Achaparramiento en el Cultivo del Maíz en Azuero, Panamá, 1992-93. R. Gordón, I. Camargo, N. de Gracia, A. González, D. Pérez, A. Alvarado y J. Franco. 239

ASPECTOS METODOLÓGICOS

La Fenología del Maíz. Jorge Bolaños y Gregory O. Edmeades. 251

Uso de Modelos de Simulación para Examinar la Variación Fenológica del Germoplasma de Maíz de CIMMYT. I. Variación en Tiempo y Espacio. Scott Chapman. 262

Uso de Modelos de Simulación para Examinar la Variación Fenológica del Germoplasma de Maíz de CIMMYT. II. Variación Genética. Scott Chapman. 268

El Diseño Alfa-Látice en Fitomejoramiento y Agronomía: Generación y Análisis. H. J. Barreto, G. Edmeades, S. Chapman y J. Crossa. 273



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

Impacto del Desarrollo de Híbridos de Maíz en Centro América: Confiabilidad de las Ganancias en Rendimiento Sobre el Genotipo H5 y Consideraciones para Selección de Testigos Regionales

H. S. Córdova, H. J. Barreto y J. Crossa¹

RESUMEN

En este trabajo se analiza el progreso alcanzado en el desarrollo de híbridos de maíz en Centro América utilizando los datos de 51 ensayos uniformes del PCCMCA entre 1988 y 1990. Se utilizó una metodología que determina la confiabilidad de respuesta (RN_i , o probabilidad de respuesta normalizada superior a cero) de los cultivares superiores con respecto a un cultivar testigo. En este estudio se determinó la confiabilidad de los cultivares HB83, HB85, H30, HA46, Dekalb B833, Pioneer XLH53, HR17, MAX307, H33 y TACSA 203, como una medida que integra tanto la magnitud de respuesta como la variabilidad en rendimiento con respecto al testigo H5. Los genotipos evaluados se clasificaron en tres clases con respecto al H5: genotipos de confiabilidad *superior* ($H30$ y $HB85$ $0.9 \geq RN_i \leq 1.0$), confiabilidad *buena* ($HB83$, $HA46$, $DekB833$, $XLH53$, $0.8 \geq RN_i < 0.90$) y confiabilidad *promedio* ($HR17$, $MAX307$, $H33$, $0.6 \geq RN_i < 0.8$). Dado que la selección de un testigo regional surge de la necesidad de proveer tanto al fitomejorador como al productor de un término de referencia común para comparar nuevos genotipos, se requiere que este tenga un comportamiento estable y que posea un nivel adecuado de producción. Estas dos características se pueden obtener de los análisis presentados ya que los genotipos estables presentan pendientes de regresión entre las diferencias de rendimiento $Y_i - Y_{H5}$ contra la media ambiental, que no difieren significativamente de cero ($P < 0.05$) y tienen $RN_i > 0.8$ con respecto al H5. Entre los genotipos que mostraron mayor potencial como testigos regionales se encuentran el HB85 y HB83. Se concluye que se necesitan mayores estudios para correlacionar el uso de la confiabilidad con otros métodos para determinar la estabilidad genotípica.

A partir de la década de los 1980, la evaluación experimental del maíz híbrido en relación a las variedades de polinización libre (VPLs) ha recibido mayor atención por los fitomejoradores del área Centroamericana en la búsqueda continua de alternativas para aumentar la producción de maíz, particularmente en ambientes favorables. La generación de híbridos con alto potencial de rendimiento y amplia adaptabilidad a los diferentes ambientes de producción requiere en primera instancia de un programa de mejoramiento con

objetivos precisos y de una eficiente infraestructura para la producción de semilla. Así mismo se reconoce que para explotar el potencial genético de los híbridos, los aspectos agronómicos de manejo del cultivo (e.g. densidad, fertilización, etc.) revisten una importancia aún mayor que en las VPLs. El desarrollo de híbridos estables y de alta producción ha facilitado la incorporación de otros componentes (fertilizantes y herbicidas) a los sistemas de producción, contribuyendo así al aumento de la productividad del cultivo del maíz de la región.

Durante el período 1966-1980, las VPLs representaron más del 70% del germoplasma producido por los programas nacionales de investigación de maíz de Centro América y El Caribe (Morris y López-Pereira, 1991). Para el período 1980-1990, se observa una tendencia mayor al desarrollo de híbridos (Córdova, 1991; López-Pereira, 1993). Entre los factores importantes que afectan el énfasis actual de la investigación en fitomejoramiento de maíz en la región de México y Centroamérica, López-Pereira y Espinosa (1993) mencionan la productividad del híbrido, rendimiento de las líneas progenitoras, el grado de eficiencia en las diferentes etapas de proceso de producción de semilla, y el impacto de las políticas agrícolas. Córdova (1989) resalta la necesidad de una mayor integración de los programas de mejoramiento genético a los sistemas de generación, prueba y transferencia de tecnología para una eficiente diseminación de los genotipos generados en la región. López-Pereira (1993) reportó una relación inversa entre el precio relativo y el uso de semilla híbrida por los agricultores en países en vías de desarrollo.

El ensayo uniforme de cultivares de maíz del Programa Colaborativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA) se inició en 1956, como un instrumento colaborativo para la evaluación sistemática de cultivares desarrollados por los programas nacionales y las empresas privadas que operan en la región. La experiencia acumulada ha permitido fortalecer las técnicas de campo para la realización de experimentos así como el análisis e

¹Respectivamente, Fitogenetista, Agrónomo y Biometrista. CIMMYT, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Apdo Postal 6-641 CP 06600 México D.F. México.

interpretación de los resultados mediante el uso de metodologías apropiadas para lograr conclusiones acertadas. La base de datos histórica de los ensayos colaborativos ha permitido a los programas nacionales tomar decisiones y reorientar los sistemas de mejoramiento del maíz en la región. La mayoría de los cultivares de maíz en producción comercial en la región han tenido como base experimental para su liberación el ensayo del PCCMCA, desde los híbridos H3 y H5 liberados en El Salvador en 1963-1965 hasta los híbridos HB83M y HB85 liberados en Guatemala en 1989. En síntesis, el ensayo colaborativo PCCMCA ha probado ser un instrumento efectivo para la evaluación experimental de los mejores materiales disponibles en el mercado de semilla de la región.

El Programa Regional de CIMMYT para Centro América y El Caribe estableció un proyecto colaborativo regional encaminado a la generación de híbridos en 1986. En 1989 se inició la evaluación experimental a nivel regional a través del ensayo colaborativo del PCCMCA. Los primeros híbridos resultantes de este esfuerzo culminaron con la liberación de nuevos materiales en Panamá y Costa Rica en 1990 y 1991, respectivamente. El progreso fitogenético y la amplia adaptabilidad a ambientes de producción de los híbridos generados en Centro América durante 1986-1990 han sido documentados por Córdova (1991).

Específicamente, Córdova (1991) en una revisión de los resultados experimentales de los ensayos del PCCMCA 1988-1990, indica que los híbridos HB85 y HB83 superaron al testigo histórico H5 en forma concluyente. Además indica que existen híbridos de maíz generados por las compañías privadas que pueden competir con los materiales desarrollados por los programas nacionales de investigación.

Las conclusiones de estos análisis con respecto a la interacción genotipo-ambiente permiten: 1) asumir una adaptabilidad amplia (regional) de algunos de los genotipos y 2) una evaluación del progreso genético alcanzado en los últimos años. Sin embargo, se hace necesario realizar un inventario apropiado de la magnitud y variabilidad de respuesta observada en genotipos selectos con el fin de incorporarlos en forma eficiente a los paquetes tecnológicos disponibles en la región.

Los objetivos de este trabajo son:

- 1) Cuantificar la probabilidad de ganancias específicas en rendimiento de diez híbridos de maíz en comparación al testigo histórico H5.

2. Plantear algunas consideraciones para la selección de testigos a ser utilizados en comparaciones a nivel regional en estudios de impacto y ganancia genética.
3. Introducir la metodología de confiabilidad de respuesta contra un testigo para caracterizar genotipos.

MATERIALES Y METODOS

Fuente de Datos Experimentales

Las localidades y la técnica experimental de los ensayos colaborativos PCCMCA utilizados en este trabajo han sido descritas por Córdova (1991). Para este estudio se utilizaron ensayos efectuados en 51 localidades como parte del proyecto colaborativo de evaluación de híbridos del PRM a través del PCCMCA, de estos se seleccionó un juego de genotipos comunes evaluados durante los años 1988-1990. Sin embargo, algunos genotipos no fueron evaluados en la totalidad de sitios. Los genotipos considerados, su origen y el número de localidades consideradas se presentan en el Cuadro 1.

Los genotipos seleccionados representan un grupo de materiales comúnmente utilizados en la región y comprenden tanto materiales generados por los programas de mejoramiento de los países del área en colaboración con el CIMMYT, al igual que algunos materiales representativos del germoplasma generado por la industria semillera privada.

Cuadro 1. Nombre del híbrido, origen, color de grano y número de localidades de evaluación en Centroamérica, 1988-1990

Nombre del híbrido	Institución /compañía	País de origen	Color de grano	No. de Locs.
Dek B833	Dekalb	U.S.A.	Blanco	31
H130	DIA	Hond.	Blanco	51
H133	DIA	Hond.	Blanco	34
H15	CENTA	Salv.	Blanco	51
H1A46	ICTA	Guate.	Amarillo	51
H1B83	ICTA	Guate.	Blanco	51
H1B85	ICTA	Guate.	Blanco	51
H1R17	Seminal	Guate.	Blanco	51
MAX307	Agridec	U.S.A.	Blanco	51
Tacs203	TACSA	Méx.	Amarillo	51
XLH153	Pioneer	U.S.A	Amarillo	51

Confiabilidad de Respuesta

Para determinar la confiabilidad de respuesta de un genotipo cualquiera (i) con respecto al testigo histórico H5 se utilizó una modificación del método de Eskridge y Mumm (1992). La confiabilidad de respuesta del i-ésimo genotipo se determinó a partir de los diferenciales de rendimiento con respecto al testigo H5 (d_i). La hipótesis a probar en este caso es si el valor promedio de d_i es mayor que cero, o sea:

$$H_0: \bar{d}_i \leq 0$$

$$H_a: \bar{d}_i > 0$$

Para probar esta hipótesis se calculan los valores promedio de d_i y la desviación estándar de las diferencias a través de todos los sitios (s_{di}). Luego se determina el valor estandarizado (d_i/s_{di}) al cual se le determina la probabilidad normal estandarizada (usando la tabla de Z normal de una cola). A esta probabilidad se le denomina Confiabilidad Normalizada con Respecto al Testigo (RN_i). La confiabilidad se calculó para cada comparación de interés y se procedió a ordenar los genotipos en términos de esta probabilidad (de mayor a menor).

Los valores de RN_i para cada genotipo representan la probabilidad de que un genotipo supere en promedio el nivel de producción establecido por el híbrido adaptado H5. Si, para un genotipo i, esta probabilidad es baja ($0.5 > RN_i \leq 0.6$) quiere decir que, en promedio, dicho genotipo no supera en términos probabilísticos al testigo adaptado por lo que su adopción como tecnología alternativa no es recomendable. Por el contrario, si el genotipo i tiene un valor de confiabilidad alto (e.g. $RN_i > 0.8$) quiere decir que se espera, en 8 de cada 10 casos en promedio, una respuesta de rendimiento del nuevo genotipo que es superior al testigo adaptado y por lo tanto su adopción por los agricultores puede ser recomendable.

Cabe destacar que la medida de confiabilidad aquí presentada no cuantifica la *magnitud* de la superioridad (en términos de ganancias en rendimiento) del nuevo genotipo con respecto al testigo. Es decir, RN_i no incorpora ningún factor económico asociado al cambio tecnológico. Esto es una consideración importante ya que los incrementos en rendimientos representados por la adopción de una nueva tecnología (en este caso un nuevo genotipo) no siempre compensan económicamente dicha adopción. Por ejemplo, una ganancia promedio en rendimiento de 250 kg/ha del genotipo i con una desviación estándar de 500 kg/ha de

la muestra de diferencias sobre el testigo, se asocia a una confiabilidad de 0.69, la cual no necesariamente implica la necesidad de un cambio tecnológico.

Confiabilidad Económica de la Respuesta

La incorporación del factor económico asociado al cambio tecnológico propuesto (de H5 al nuevo híbrido) se puede realizar considerando que la diferencia promedio d_i supere un determinado nivel de costos. Este nivel estaría relacionado al incremento en rendimiento necesario para cubrir y/o superar los costos del cambio tecnológico (los costos c, expresados en las unidades de medida del rendimiento). De esta manera la adopción de un nuevo genotipo sería recomendable solo si $d_i > c$. Las hipótesis de interés son:

$$H_0: \bar{d}_i - c \leq 0$$

$$H_a: \bar{d}_i - c > 0$$

Esta probabilidad se obtiene de la variable normal estandarizada Z de una cola y se le denomina ERN_i . De esta forma los genotipos se ordenan de acuerdo a sus valores de ERN_i para cada genotipo y costos asociados con un cambio tecnológico en particular.

RESULTADOS Y DISCUSION

Confiabilidad Contra el Testigo H5

El método propuesto está basado en la premisa de que el proceso de decisión sobre selección de un genotipo, sea por los fitomejoradores o por los productores, esta fuertemente influenciado por el nivel de certeza estadística que se tenga sobre el potencial de los nuevos cultivares de tener una alta probabilidad de superar a un cultivar testigo en una localidad determinada (Nuland y Eskridge, 1991; Eskridge y Mumm, 1992) y de cubrir o superar los costos del cambio tecnológico. En este sentido, se define a un genotipo como de confiabilidad económica superior como aquel que tiene una alta probabilidad de sobrepasar en comportamiento al testigo dentro del rango de costos de producción asociados al cambio tecnológico. El cultivar con la confiabilidad más alta dentro de un rango de costos dado es el mejor cultivar. Entre más pequeña y cercana a 0.5 sea la confiabilidad económica, existe un mayor riesgo asociado al comportamiento del genotipo de prueba con respecto al testigo.

El híbrido H5 ha sido tradicionalmente utilizado como un comparador para medir el progreso genético de los nuevos cultivares de maíz híbrido en la región de Centro América y El Caribe (Córdova, 1991). El H5 fue inicialmente desarrollado e introducido a los agricultores alrededor de 1963-1965 (Walker, 1980), por lo que establece un punto de referencia histórica. A pesar de algunas limitaciones con respecto a la susceptibilidad de este material con respecto a estreses, particularmente bióticos (e.g. achaparramiento), su potencial de rendimiento y difusión entre los agricultores lo han convertido en un verdadero *caballo de batalla* en la lucha incesante para aumentar la producción de maíz en la región Centroamericana.

Los diagramas de dispersión y regresión lineal de las diferencias de rendimiento con respecto al H5 de los diez híbridos considerados en este estudio en relación a la media ambiental se presentan en las Figuras 1-3. Las confiabilidades calculadas para los diferentes genotipos evaluados se presentan en el Cuadro 2. Los genotipos (H30 y HB85) presentaron confiabilidades por encima de 0.90, las cuales se consideran superiores. La probabilidad normalizada de estos dos genotipos sugiere una respuesta diferencial en rendimiento mayor que cero con respecto al H5 en 9 de cada 10 instancias.

Sin embargo, para el agricultor el cambio tecnológico de pasar de un genotipo a otro involucra costos, sean estos directos (semilla más costosa) o indirectos (costos de infraestructura para la producción de nueva semilla y/o subsidios a la semilla). Mediante una modificación al método propuesto por Eskridge y Mumm (1992), se evaluó el cambio en la probabilidad de respuesta a medida que los costos incurridos en el cambio tecnológico (H5 a híbrido nuevo) aumentan. El Cuadro 2 ilustra este efecto para los genotipos evaluados bajo diferentes escenarios de costos (en unidades de rendimiento, 0.25, 0.50 y 0.75 t/ha) asociados con el cambio tecnológico. Los genotipos se agruparon en tres grupos de acuerdo a su confiabilidad (RN_i): confiabilidad *superior* ($H30$ y $HB85$, $0.9 \geq RN_i \leq 1.0$), confiabilidad *bueno* ($HB83$, $HA46$, $DekB83$, $XLH53$, $0.8 \geq RN_i < 0.90$) y confiabilidad *promedio* ($HR17$, $MAX307$, $H33$, $0.6 \geq RN_i < 0.8$). El genotipo TACSA-203 presenta una confiabilidad por debajo de 0.6 y por lo tanto representaría en promedio un riesgo relativamente similar para el agricultor con respecto a la utilización del H5.

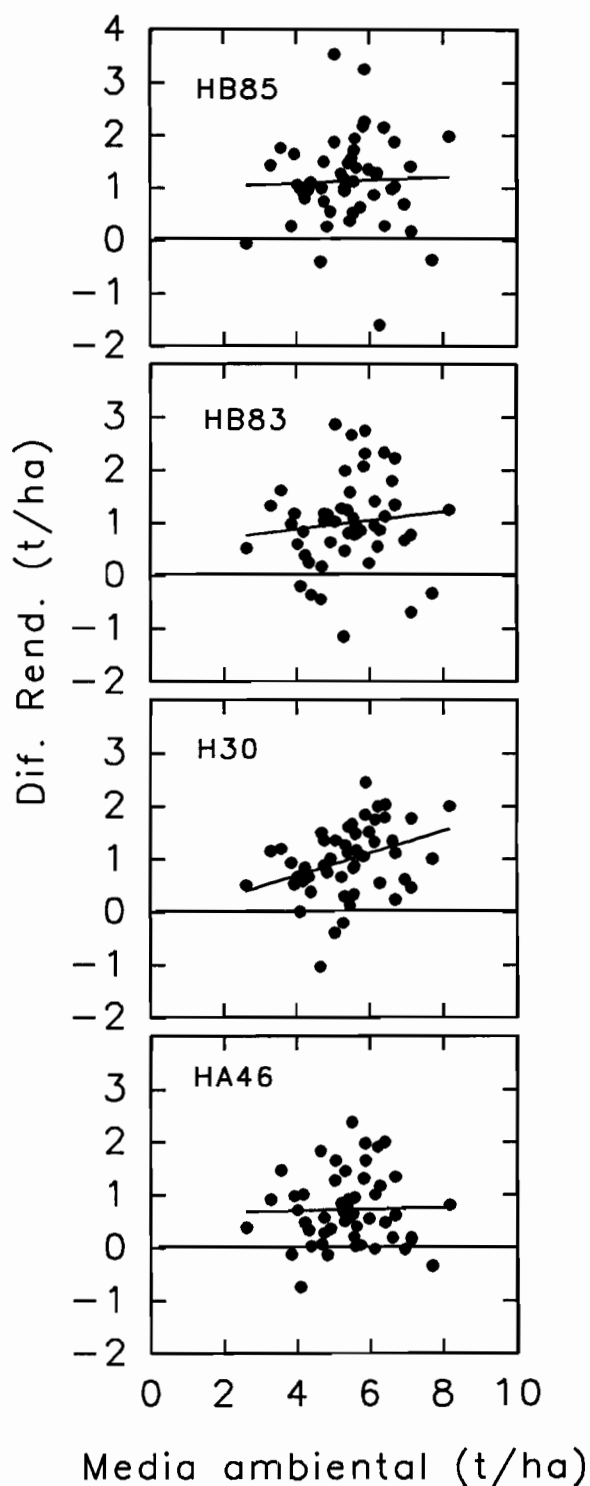


Figura 1. Diagramas de dispersión de las diferencias de rendimiento y la estabilidad relativa de cuatro híbridos de maíz con respecto al testigo histórico H5 evaluados en Centro América durante 1988-1990.

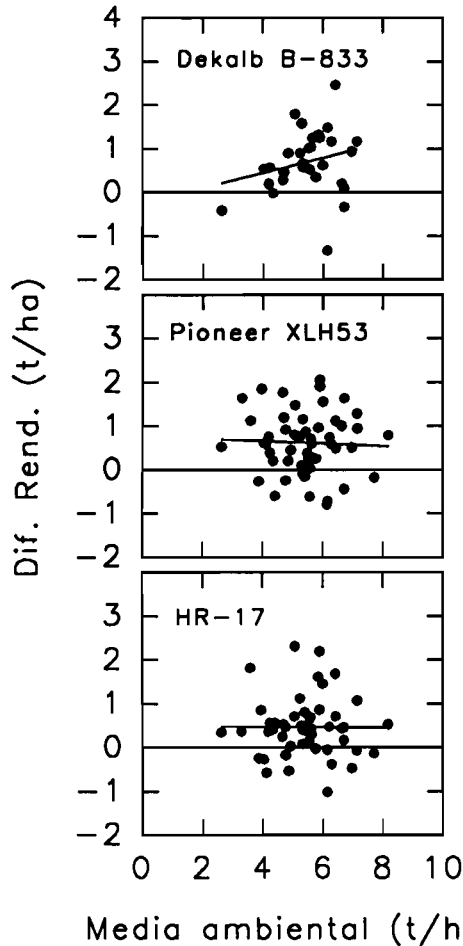


Figura 2. Diagramas de dispersión de las diferencias de rendimiento y la estabilidad relativa de tres híbridos de maíz con respecto al testigo histórico H5 evaluados en Centro América durante 1988-1990.

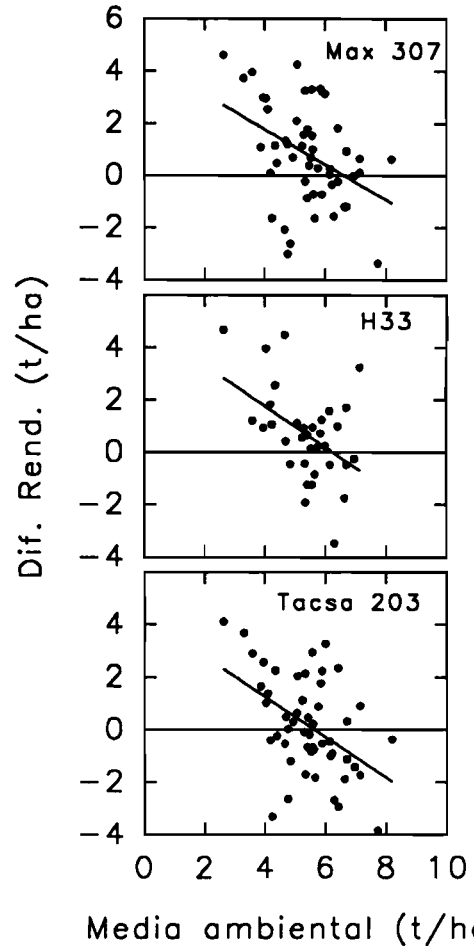


Figura 3. Diagramas de dispersión de las diferencias de rendimiento y la estabilidad relativa de tres híbridos de maíz con respecto al testigo histórico H5 evaluados en Centro América durante 1988-1990.

Cuadro 2. Promedios de diferencias en rendimiento, desviaciones estándar y confiabilidad económica a diferentes niveles para 10 híbridos de maíz con respecto al H5 en evaluaciones a través de Centroamérica, 1988-1990.

Entrada	Rend. t/ha	Diff. t/ha	Desv Est. t/ha	RN _i >0	ERN _i c>0.25t	ERN _i c>0.5t	ERN _i c>0.75t
HB85	5.92	1.12	0.85	0.90	0.84	0.76	0.66
HB83	5.79	0.99	0.85	0.87	0.80	0.71	0.61
H30	5.77	0.97	0.67	0.92	0.85	0.76	0.63
MAX307	5.59	0.79	1.92	0.66	0.61	0.56	0.51
DekB833	5.56	0.70	0.72	0.83	0.73	0.60	0.47
HA46	5.51	0.72	0.67	0.85	0.75	0.62	0.48
XLH53	5.41	0.61	0.70	0.80	0.69	0.56	0.42
H33	5.37	0.67	1.75	0.64	0.59	0.53	0.48
HR17	5.26	0.46	0.67	0.75	0.62	0.48	0.33
TACSA203	4.94	0.14	1.85	0.53	0.47	0.42	0.37
H5	4.79	0.00	-	-	-	-	-

De la información en Cuadro 2 para los genotipos de confiabilidad *superior* se observa claramente que si los costos de cambio tecnológico son cero (lo cual es dudoso) el híbrido H30 presentaría una pequeña ventaja sobre el HB85. Sin embargo, a medida que los costos aumentan por encima de 0.5 t/ha (expresados como toneladas de maíz/ha), el HB85 se hace relativamente más confiable. Esto se explica en función del mayor diferencial de rendimiento del HB85 sobre el H5 a pesar de una mayor varianza con respecto al H30. En forma similar para los híbridos de confiabilidad *buena*, el HB83 representa la alternativa más adecuada pues la probabilidad de respuesta, aún a costos de hasta 0.5 t/ha, permanece siempre por encima de la de los otros materiales.

Para los híbridos de confiabilidad *promedio*, si los costos del cambio tecnológico son bajos (e.g. < 0.2 t/ha), la opción obvia sería el HR17 ($RN_i = 0.76$); sin embargo, si los costos se aumentan por encima de este nivel, la confiabilidad de respuesta para todos los híbridos de este grupo se aproxima a 0.5 y por lo tanto el cambio tecnológico tiene un mayor riesgo en comparación al H5 (e.g. una probabilidad de 0.5 indica que se tiene tan solo una probabilidad de 1:1 o 50% de que el híbrido rinda por encima del H5).

Análisis de Estabilidad Relativa

Con respecto a la estabilidad de los genotipos evaluados a través de ambientes, Eskridge y Mumm (1992) demostraron que la confiabilidad es una medida que está relacionada a otros parámetros de estabilidad genotípica. Entre los parámetros de estabilidad que han demostrado estar en estrecha correlación se incluyen el coeficiente de regresión de Finlay y Wilkinson (1963), la desviación del cuadrado medio de Eberhart y Russell (1966) y la varianza de estabilidad de Shukla (1972). En este sentido, la confiabilidad es una medida que evalúa tanto las ganancias en rendimiento con respecto al testigo así como la variabilidad de respuesta (Figura 4). La caracterización de la estabilidad de los genotipos evaluados en este estudio utilizando la metodología de Eberhart y Russel (1966) y el modelo multiplicativo AMMI (Gauch, 1988), han sido documentados por Córdova (1991). Sin embargo, las correlaciones de estos resultados con el método de evaluación propuesto no se incluyen en el presente trabajo y constituyen una área futura de validación del método.

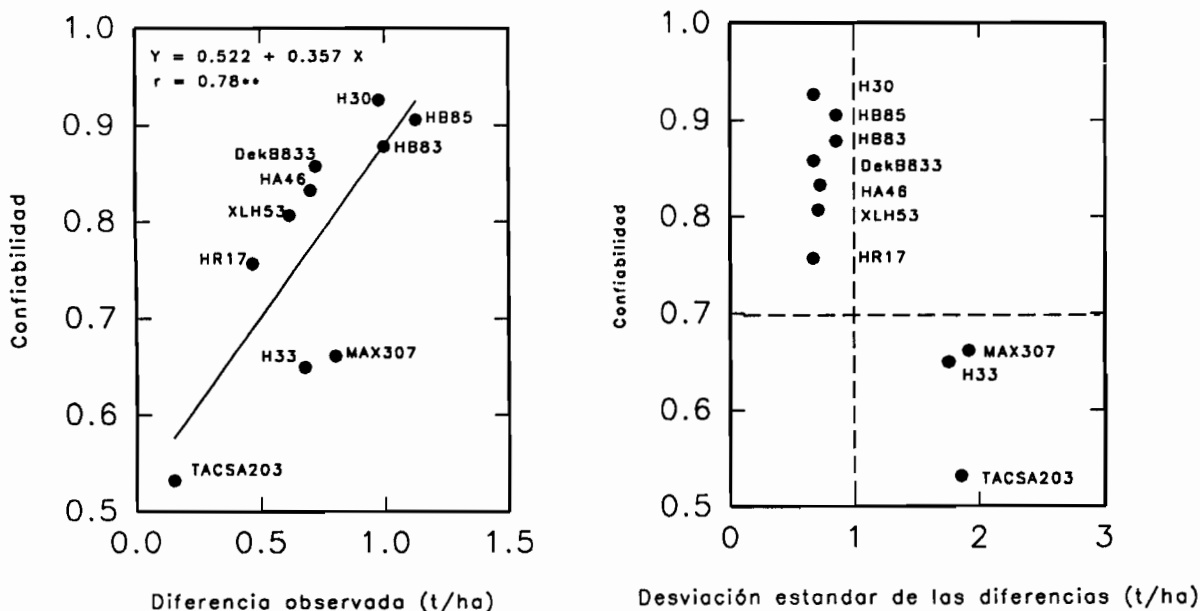


Figura 4. Relación de la confiabilidad con la magnitud de las diferencias en rendimiento, y la desviación estándar de la muestra de diez híbridos de maíz evaluados en Centro América durante 1988-1990.

Una manera alternativa de obtener una medida de la estabilidad de los materiales evaluados en este trabajo con respecto al testigo histórico es utilizando la modificación del análisis de estabilidad de Finlay y Wilkinson (1963) propuesta por Raun, *et al.*, (1993). Mediante esta es posible caracterizar la *estabilidad relativa* de los diferenciales de rendimiento (d_i) de cada genotipo con respecto a la media ambiental utilizando regresión lineal. Los resultados del análisis de regresión se presentan en el Cuadro 3. En este último método, la estabilidad de los genotipos con respecto al testigo se caracteriza en función de la pendiente lineal, su signo y la probabilidad de que sea diferente de cero. En este contexto, un genotipo *estable con respecto al testigo*, se define como aquel en el que la pendiente no es significativamente diferente de cero. Un genotipo caracterizado como *inestable con respecto al testigo* (aquel con pendientes fuertemente positivas o negativas), no implica que deba ser excluido o que sea inferior, sino simplemente indica que los diferenciales de rendimiento en relación al testigo se comportan con un grado relativamente alto de interacción con el ambiente.

Los genotipos HB85, HB83, HA46, Pioneer XLH53 y HR17 mostraron estabilidad relativa con respecto al H5. Los genotipos H30 y Dekalb B833 demostraron inestabilidad relativa de tipo positivo, mientras que los genotipos MAX307, H33 y TACSA203 demostraron inestabilidad relativa de tipo negativo con respecto al H5 en ambientes favorables, pero compensaron en alguna manera por su comportamiento sobresaliente en ambientes de menor potencial de rendimiento (Figuras 1-3).

Cuadro 3. Pendientes de regresión lineal y prueba de t para pendiente diferente de cero para las diferencias de rendimiento con respecto al H5 y la media ambiental en evaluaciones a través de Centroamérica, 1988-1990.

Híbrido	Pendiente de regresión	t estadístico B < 0	Prob. t < 0
HB85	0.0306	0.282	0.78
H30	0.2107	2.638	0.01@
HB83	0.0836	0.775	0.44
HA46	0.0133	0.156	0.88
DekB833	0.1733	1.304	0.20
XLH53	-0.0293	0.326	0.75
MAX307	-0.6772	3.034	0.004@
H33	-0.7826	2.906	0.007@
HR17	-0.0053	0.063	0.95
TACSA203	-0.7695	3.707	0.001@

@: Indica híbridos con alto grado de interacción con el ambiente respecto al testigo H5.

Las pendientes de regresión para los genotipos clasificados como estables e inestables se presentan en el Cuadro 3. Los genotipos clasificados como estables (en términos relativos) con la presente metodología también lo fueron en términos absolutos en los estudios de Córdova (1991) utilizando la metodología de Eberhart y Russel (1966) y el modelo multiplicativo AMMI (Gauch, 1988).

Consideraciones para la Selección de Testigos Regionales

La identificación de un testigo en un programa de mejoramiento de carácter regional, cuyo enfoque está orientado al desarrollo de genotipos adaptados a ambientes contrastantes que incluyen factores adversos (bióticos y abióticos) a la producción, es un paso esencial para poder determinar las ganancias genéticas relativas a través del tiempo. Córdova (1991) indica que en un programa de mejoramiento avanzado se debe mantener también un testigo histórico que para la región de Centroamérica lo constituye el H5. Por lo tanto se recomienda su continua inclusión en los ensayos colaborativos PCCMCA.

En su presentación del método, Eskridge y Mumm (1992) advierten claramente y con justa razón sobre los riesgos de utilizar un genotipo testigo que no se encuentre bien adaptado a los ambientes de prueba, debido a que podría proveer estimados de confiabilidad no realistas. En nuestro caso la selección del H5 como testigo está justificada en virtud de la amplia difusión de este material entre los agricultores de la región de Centro América y El Caribe. Por otra parte, para poder medir el progreso genético de los nuevos materiales se hace necesario seleccionar un testigo con características sobresalientes y poca interacción con el ambiente. Los resultados de este trabajo sugieren a los cultivares HB85 y HB83 como genotipos que reúnen características adecuadas para ser testigos regionales en evaluaciones futuras de ganancias en rendimiento e impacto a nivel Centroamericano.

Algunos otros problemas adicionales que afectan la selección de un testigo regional son: 1) El potencial de los nuevos genotipos de sobrepasar en rendimiento en forma consistente al genotipo testigo a través de ambientes y años y 2) La capacidad de la industria semillera de proveer semilla en cantidades suficientes de los materiales sobresalientes. En primera instancia, para poder declarar que un genotipo es superior a otro como testigo se hace necesario demostrar no sólo que rinde substancialmente más, pero también se hace necesario calificar su estabilidad en comportamiento a

través de ambientes. La Figura 4 presenta la relación observada entre magnitud de la diferencia con respecto al H5 y la confiabilidad de respuesta de los genotipos evaluados. Es claro, que a mayor diferencial de rendimiento existe una mayor confiabilidad y que en general alrededor de 0.8-1.0 t/ha la confiabilidad es alta (>0.8). La variación en confiabilidad para los genotipos dentro de un diferencial de rendimiento dado, se debe fundamentalmente a la diferente magnitud de las desviaciones estándar a través de localidades (Figura 4).

Un testigo regional debe proveer tanto al mejorador como al productor un término de referencia común para comparar nuevos genotipos. Por lo tanto se requiere que su comportamiento ante todo sea estable y que tenga un nivel adecuado de producción. Estas dos características se pueden obtener de los análisis presentados, ya que los genotipos estables presentan pendientes de regresión de las diferencias de rendimiento (con respecto al testigo) que no difieren significativamente de cero y la confiabilidad caracteriza la probabilidad normal de que la respuesta en rendimiento sea superior al testigo.

CONCLUSIONES

1. En este trabajo se determinó la confiabilidad de los cultivares HB83, HB85, H30, HA46, DekB833, XLH53, HR17, MAX307 y H33 como una medida que integra tanto la magnitud de respuesta y la variabilidad en rendimiento con respecto al testigo H5. Los genotipos evaluados se clasificaron en tres clases con respecto al H5: Genotipos de confiabilidad *superior* (H30 y HB85 $0.9 \geq RN_i \leq 1.0$), confiabilidad *buen*a (HB83, HA46, DekB833 y XLH53, $0.8 \geq RN_i < 0.90$) y confiabilidad *promedio* (HR17, MAX307 y H33, $0.6 \geq RN_i < 0.8$).
2. Se identificaron dos genotipos (HB85 y HB83) que poseen características deseables que los califican para su inclusión como testigos regionales en el ensayo del PCCMCA: 1) estabilidad con respecto al testigo histórico H5 y 2) alto potencial de rendimiento en diferentes ambientes de evaluación.
3. El genotipo H5 se debe continuar usando como testigo histórico en los ensayos del PCCMCA dada la amplia difusión de este material entre los agricultores de Centro América y El Caribe.
4. Se necesitan mayores estudios para correlacionar el uso de la confiabilidad con otros métodos para determinar la estabilidad genotípica.

REFERENCIAS

- Córdova, H.S. 1991. Respuestas diferenciales para rendimiento de híbridos de maíz evaluados en ambientes contrastantes de Latinoamérica, PCCMCA 1990. En: Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma para Resistencia a Factores Adversos Bióticos y Abióticos 1990. PRM. p15-33.
- Córdova, H.S. 1989. Evaluación de 36 cultivares de maíz en 20 ambientes de Centroamérica, Panamá y El Caribe, PCCMCA 1988. Presentado en la XXXV Reunión anual del PCCMCA, San Pedro Sula, Honduras. Abril 2-7, 1989.
- Eberhart, S.A y W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Eskridge K.M. y R.F. Mumm. 1992. Choosing cultivars based on the probability of outperforming a check. *Theoretical and Applied Genetics.* 84:494-500.
- Finlay, K.W y G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14:742-754.
- Gauch, H.G. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics* 44(3):705-715.
- López-Pereira, M.A. 1993. Efectos de cambios de políticas agrícolas en la investigación en mejoramiento de maíz en Centro América y México. Trabajo presentado en la XXXIX Reunión Anual del PCCMCA, Marzo 28-Abril 3, 1993. Guatemala.
- López-Pereira, M.A. y A. Espinosa. 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 PCCMCA, Marzo 28-Abril 3, 1993. Guatemala.
- Morris M.L. y M.A. López-Pereira. 1991. Impacts of CIMMYT's maize breeding research: A preliminary overview. Borrador. México D.F.: CIMMYT.
- Nuland, D.S. y K.M. Eskridge. 1992. Probability of outperforming a check. *Annual report of the Bean Improvement Cooperative.* Vol 35:17-18.
- Raun W.R., H.J. Barreto y R.L. Westerman. 1993. Use of stability analysis for long term soil fertility experiments. *Agron. J.* 85:159-167.
- Shukla G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environment components of variance. *Heredity* 29:237-245.
- 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. Ph.D Dissertation, Food Research Institute, Stanford University.

Bases Fisiológicas del Progreso Genético en Cultivares del PRM¹

Jorge Bolaños²

RESUMEN

El desarrollo de germoplasma ha sido uno de los logros más sobresalientes del PRM. El objetivo de este trabajo es determinar parámetros fisiológicos, fenológicos y morfológicos estándares que expliquen las bases de la elaboración del rendimiento en los cultivares de maíz más importantes del PRM e indagar sobre las bases del progreso genético obtenido. Se establecieron ensayos con 9 cultivares (4 híbridos y 5 variedades de polinización libre, VPLs) en bloques completos al azar en 3 repeticiones a través de 11 diversos ambientes de la región. Los híbridos rindieron consistentemente 1.0-1.5 ton/ha por encima de las VPLs a través de todos los ambientes evaluados. La base de estas diferencias parece radicar en un mayor crecimiento diario de la mazorca en los híbridos (2.7 g/día) que en las VPLs (2.3 g/día). El rendimiento final de cada cultivar es el producto de esta eficiencia por los días de llenado. Dentro de los híbridos y VPLs respectivamente, las diferencias en rendimiento dependen de la duración de la fase de llenado de grano y no de la eficiencia. Los híbridos HB-85 y CB-HS7 prolongan 6 días más el llenado de grano que P-8916 y H-5, y el Sint.Sequia tiene 3 días más de llenado de grano que las otras VPLs. También se detectó una fuerte relación negativa entre la duración del llenado y la madurez, sugiriendo que a medida que el genotipo se hace más precoz pasa menos tiempo produciendo hojas y más tiempo llenando grano. Consistente con estos datos, los híbridos tienen un mayor índice de cosecha que las VPLs. Estos datos sugieren que prolongar la fase de llenado de grano es un método efectivo para incrementar el rendimiento. Se sugiere que los esquemas de mejoramiento contemplen estos criterios de selección.

El desarrollo de germoplasma mejorado de maíz ha sido la actividad más importante del Programa Regional de Maíz (PRM) desde sus inicios hace más de 15 años. En tan sólo los últimos 3 años (1989-1991) el PRM ha liberado más de 20 cultivares de maíz incluyendo híbridos y variedades de polinización libre (VPLs) en la región con tolerancia a diversos factores bióticos y abióticos (Córdova, 1991). Se estima que el PRM ha venido obteniendo ganancias genéticas en sus programas de desarrollo de germoplasma cercano al 2% por ciclo de selección (Córdova, 1991). Esta tasa se compara favorablemente con la obtenida por otros en germoplasma de maíz tropical (Pandey *et al.*, 1987; Paterniani, 1990; Pandey y Gardner, 1992).

¹PRM, Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe.
²Agrónomo Regional para Centro América y el Caribe, CIMMYT, Guatemala.

Existen varias avenidas para incrementar la productividad (fracción cosechable) de un cultivo: (a) un incremento en la duración de la siembra a la cosecha del cultivo o en la proporción 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 proporción de la 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 de población, capacidad que también está asociada a la capacidad de tolerar estreses ambientales (Fischer y Palmer, 1984; Bolaños y Edmeades, 1993a).

Por ejemplo, estudios en germoplasma de maíz tropical con genealogías similares a los cultivares del PRM indican densidades óptimas por debajo de 50 mil pl/ha, índices de cosecha menores a 0.40 y menos del 50% de la duración del cultivo en llenado de grano (Fischer and Palmer, 1984; Paterniani, 1990; Pandey y Gardner, 1992). Ganancias en rendimiento en maíz tropical, caracterizado por ser alto, de excesivo follaje y tardío, han resultado de cambios en la distribución de la materia seca y consecuentes aumentos en el índice de cosecha a medida que la altura de planta, el follaje y la madurez se han reducido (Fischer y Palmer, 1984; Pandey y Gardner, 1992; Bolaños and Edmeades, 1993a). Asociado a estos cambios ha aumentado también la tolerancia a densidad (Fischer y Palmer, 1984; Paterniani, 1990).

En contraste, los híbridos de maíz disponibles actualmente en la zona maicera de los Estados Unidos tienen una densidad óptima de siembra que excede 70 mil pl/ha, índices de cosecha que exceden 0.55 y la fenología del cultivo dedica más del 60% del tiempo al llenado de grano (Duvick, 1977; Russell, 1984, 1985). Las ganancias genéticas en los cultivares de maíz de las zonas templadas ha dependido principalmente del alargamiento del llenado de grano y mantenimiento del área foliar verde (*staygreen*) (Duvick, 1977; Russell, 1984, 1985). A pesar que existen caracterizaciones generales sobre maíz tropical, las bases fenológicas, morfológicas y/o fisiológicas de la elaboración del rendimiento y posibles avenidas de ganancias genéticas de los cultivares más importantes del PRM se desconoce. El

objetivo de este ensayo es caracterizar parámetros estándares explicativos del rendimiento y su elaboración (Fischer y Palmer, 1984; Bolaños y Barreto, 1991; Bolaños y Edmeades, 1993b) en los cultivares más importantes del PRM. Se espera que la información sirva de base para entender mejor las bases del progreso genético y sus limitaciones.

MATERIALES Y METODOS

Localidades, Cultivares, Diseño y Manejo Experimental

Se establecieron un total de 11 ensayos con distintos manejos y en diversos ambientes de Centro América, el Caribe y México. Todas las localidades fueron estaciones experimentales normalmente usadas por los investigadores de las instituciones colaboradoras en la conducción del ensayo (Cuadro 1). Algunas de éstas también llevaron tratamientos y condiciones especiales. Los ensayos se establecieron usando semilla fresca proveída por los Programas Nacionales de Maíz y casas comerciales participantes. Se evaluaron 9 cultivares (4 híbridos y 5 VPLs) seleccionados en base a su representatividad dentro de los distintos proyectos de mejoramiento del PRM, relevancia comercial y/o histórica (Cuadro 2). Dentro del grupo estaban representados los cultivares que sirven de base a los esquemas de selección regionales del PRM, como el desarrollo de híbridos y tolerancia a sequía, achaparramiento y pudrición de mazorca.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones (excepto el ensayo 11 que tuvo solamente 2 reps) en parcelas de 5 surcos de 8 m de largo (aunque varió de tamaño en algunas localidades) a una densidad de 5.0 a 5.3 pl/m² sembrándose 2 semillas (para ralea a 1 planta por golpe) cada 0.25 m en surcos que variaron de 0.75 a 0.85 m según la localidad. En las localidades 5 y 6 se establecieron densidades de 3.5 y 7.0 pl/m² para superimponer también una evaluación de la respuesta a densidad de estos cultivares (Bolaños *et al.*, 1993). Los ensayos se manejaron con manejo adecuado bajo condiciones óptimas (150 kg N/ha, 40 kg P₂O₅/ha, control de plagas, enfermedades y malezas), con excepción de los ensayos 10 (donde se impuso estrés de sequía suspendiendo el riego del cultivo a los 35 días en un ambiente árido) y 11 (donde se impuso deficiencia de N usando un bloque manipulado por más de 6 años para mantener niveles mínimos de N). La localidad 2 también sufrió de estrés reduciendo el rendimiento potencial.

Cuadro 1. Localidades, fecha de siembra y manejo de los ensayos.

	País	Localidad	Fecha	Manejo
01	Guat	Cuyuta	Jun 92	Óptimo
02	Guat	San Jerónimo	Jun 92	Óptimo
03	El Salv	San Andrés	Jun 92	Óptimo
04	Hond	Omonita	Nov 92	Óptimo
05	Nica	San Cristóbal	Jun 92	3 pl/m ²
06	Nica	San Cristóbal	Jun 92	7 pl/m ²
07	Pana	Río Hato	Jun 92	Óptimo
08	RDom	San Cristóbal	Nov 92	Óptimo
09	Mex	Tlaltizapán	Jun 92	Óptimo
10	Mex	Tlaltizapán	Nov 92	Sequía
11	Mex	Poza Rica	Nov 92	Defic N

Cuadro 2. Descripción de los cultivares de maíz evaluados en el ensayo.

Genotipo	Institución	Observaciones
HB-85	ICTA Guatemala	Testigo del proyecto de híbridos del PRM, mejor entrada en el ensayo del PCCMCA 1989-91. Blanco, dentado.
H-5	CENTA El Salvador	Híbrido liberado en 1960's, aún más de 100 mil ha sembradas en El Salv. Testigo histórico. Blanco, dentado.
P-8916	IDIAP Panamá	Generado y liberado con líneas del PRM, excelente comportamiento en ensayos regionales. Amarillo, dentado cristalino.
CB-HS7	Cristiani Buckard	Híbrido de casa comercial productora de semilla, testigo con genealogía similar al HB-85. Blanco, dentado.
Sint. Reg. Pob. 73	CNIGB Nicaragua	Sintético experimental del último ciclo de selección para achaparramiento en Pob. 73 en PRM. Amplia difusión en Nic. Blanco, dentado.
Sint. Reg. Sequía	SRN Honduras	Sintético experimental del último ciclo de selección para tolerancia a sequía en PRM, basada en TuxSeqC6 x BS-19. Blanco, dentado.
RPMxC17	MAG/UCR Costa Rica	Pob. bajo selección para tolerancia a pudrición de mazorca en PRM, basada en Tuxp. PB C17 x compuestos criollos de CR. Blanco, dentado.
CESDA-88	CESDA RepDom	Pob. amarilla b/selección a achaparramiento en PRM, muy difundido en RepDom, cruza entre Pob36 x Frances Largo. Amarillo, dentado.
B-1	ICTA Guatemala	VPL liberada a fines 1970 basada en TuxpPBC17, testigo histórico para medir progreso en VPLs. Blanco, dentado.

Toma de Datos y Mediciones

Para las mediciones solamente se usaron plantas en los 3 surcos centrales sin usar las 2 plantas en los bordos extremos. A los 5-10 días después de la germinación, cuando la hoja #5 era aún reconocible, esta se marcó en 12 plantas por parcela de una manera que sería reconocible posteriormente (pintura o corte de tijera), y posteriormente se hizo lo mismo con la hoja #10. Después de la floración, se contó el número final de hojas por planta (NFH), contando desde la antes marcada hoja #10, así como el número de la posición de la hoja de la mazorca (NHMZ), el número de ramas primarias en la espiga (NRPE), el largo y ancho máximo de la hoja de la mazorca, y el número de hojas verdes por debajo de la mazorca (NHV).

Antes de la floración y después que el 10% de las espigas eran visible, se visitó la parcela cada 2-3 días y se determinó la fecha a 50% floración masculina y femenina (DAFM y DAFF). El intervalo entre la antesis y la emisión de los estigmas se calculó como la diferencia entre DAFF y DAFM. Con el mismo procedimiento de visitas continuas antes de la cosecha se determinó también los días al 50% de madurez fisiológica (DMF) observando la presencia de capa negra en plantas de los surcos bordo (se hizo sólo en 4 localidades). La duración de llenado de grano se calculó como la diferencia entre DMF-DAFF.

A la cosecha, 12 plantas al azar se cosecharon para biomasa total y peso de mazorca. El índice de cosecha (IC) se calculó como la proporción de grano en la biomasa total. Todas las plantas restantes en la parcela útil (10-12 m²) se cosecharon a mano y se determinó el peso de campo de las mazorcas. En 12 mazorcas al azar, se determinó el índice de desgrane, el número de hileras por mazorca y el número de granos en 1 hilera para estimar el número total de granos por mazorca. Se determinó el peso y humedad de 200 granos. El rendimiento de grano se uniformizó a un contenido de 15% de humedad. Se calcularon los componentes de rendimiento estándares (Bolaños y Barreto, 1991). La eficiencia de llenado de grano de la mazorca, o el rendimiento efectivo por día de llenado se calculó al dividir el peso promedio de grano por planta (g/planta) entre la duración del llenado de grano.

Estudio del Desarrollo de la Línea de Leche durante la Maduración del Grano

En el ensayo 9 (Tlaltizapán) se efectuó un estudio para caracterizar el desarrollo de la línea de leche del

grano durante su maduración. Para esto, comenzando unos 45 días después de la floración y en intervalos de 3 a 4 días hasta llegar a la madurez fisiológica, se cosecharon 4 mazorcas en los surcos laterales de cada parcela y se usaron 2 granos del centro de cada mazorca para calificar el desarrollo de la línea de la leche con una escala de: 0 para granos aún sin línea de leche (todo lechoso); 1 para granos con la línea en el 25% superior del grano; 2 para granos con la línea entre el 25 y 50% superior del grano; 3 para granos con la línea entre el 25 y 50% inferior del grano; 4 para cuando la línea ya no es visible pero aún se puede exprimir leche; y 5 para la presencia de capa negra cuando no se puede exprimir leche (Bolaños y Edmeades, 1993b). Las mazorcas fueron posteriormente desgranadas para determinar el porcentaje de humedad y peso de grano.

Análisis y Presentación de Datos

Se efectuó análisis de varianza de los datos por cada localidad individual y combinado a través de las todas las 11 localidades, los genotipos considerándose como efectos fijos, y las localidades como efectos al azar. Se hicieron contrastes ortogonales apropiados entre híbridos y VPLs. Se utilizó el método de estabilidad de Eberhart y Russell (1966) para la presentación comparativa del rendimiento de grano en resultados gráficos.

RESULTADOS Y DISCUSION*Rendimiento a Través de las 11 Localidades*

A través de las 11 localidades, los híbridos rindieron consistentemente por encima de las VPLs, las diferencias aumentando con el potencial ambiental (Figura 1). Debido a esto, se detectó una interacción significativa genotipo por ambiente en rendimiento, pero sin detectar cruzamiento significativo entre los cultivares.

El híbrido CB-HS7 superó a todas las demás entradas, mostrando rendimiento superior aún en las localidades bajo estrés de sequía y deficiencia de N (locs 10 y 11). Los híbridos HB-85 y P-8916 ocuparon el segundo y tercer lugar, respectivamente. El híbrido H-5 mostró el comportamiento más pobre entre los híbridos, y en muchos de los casos fue superado por las VPLs. Dentro de las VPLs, el Sint. Sequía rindió consistentemente por encima de las otras (más de 0.4 ton/ha) y RPMxC17 mostró el

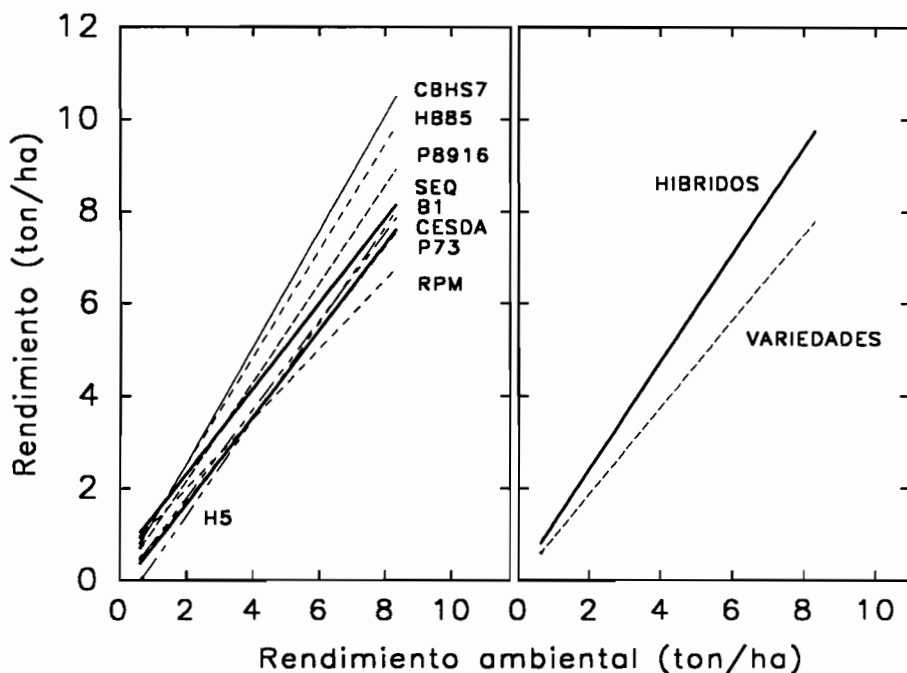


Figura 1. Líneas de regresión entre (a) el rendimiento de los 9 cultivares evaluados y el rendimiento ambiental, definido como el promedio de todos los cultivares en cada localidad; y (b) el rendimiento promedio de los híbridos (ent 1,3,4) y las VPLs (ent 5,6,8,9) contra el rendimiento ambiental.

comportamiento más pobre. Los cultivares B-1, Cesda-88 y el Sint. P73 tuvieron un comportamiento similar en rendimiento a través de los ambientes evaluados (Figura 1). Una comparación entre híbridos y VPLs (excluyendo el H-5 y RPMxC17 debido a su comportamiento pobre) muestra claramente la superioridad de los híbridos a través de todos los ambientes evaluados (Figura 1). Aún en ambientes con potencial de rendimiento inferior a 1.0 ton/ha, los híbridos superan a las VPL's en más de 0.3 ton/ha, y esta diferencia aumenta a casi 1.5 ton/ha en ambientes con potencial de rendimiento de 6.0 ton/ha. Los parámetros de regresión del modelo Eberhart y Russell (1966) se presentan en el Cuadro 3. Como se puede notar, en promedio los híbridos tienen coeficientes de regresión (pendientes) de 1.16, mientras que las VPLs de 0.93.

Parámetros Fisiológicos, Fenológicos y Morfológicos en los Cultivares del PRM

El Cuadro 4 presenta las medias y descriptores estadísticos de los parámetros fisiológicos, fenológicos y morfológicos evaluados en los cultivares a través de los 11 ambientes. Por razones de espacio, no se presentan los análisis individuales por localidad. En promedio, los híbridos rindieron 1.1

ton/ha más que las VPLs, principalmente debido a un mayor peso de mazorca (17 g/mz más que las VPLs), un mayor número de granos por mazorca (48 granos/mz más que las VPLs debido a 1.2 hilera adicional por mazorca pero no a un mayor número de granos por hilera), un mayor número de mazorcas por área (5 mil mz/ha adicionales), y un mayor índice de cosecha (36% vs 33%).

Cuadro 3. Coeficiente de regresión e intercepto de regresión entre rendimiento de cada cultivar versus el potencial ambiental) de 9 cultivares a través de 11 localidades.

Genotipo	Coefficiente Regresión	Intercepto	r ²
HB-85	1.15	0.19	0.98
H-5	1.04	-0.68	0.97
P-8916	1.07	0.02	0.99
CB-HS7	1.26	0.01	0.98
Sint. Pob 73	0.94	-0.22	0.99
Sint. Sequia	0.92	0.46	0.99
RPM x C17	0.74	0.49	0.96
Cesda	0.92	-0.13	0.98
B-1	0.96	-0.13	0.97
Híbridos ¹	1.16	0.07	0.99
VPLs ¹	0.93	-0.01	0.99

¹El promedio de híbridos excluye entrada 2 y el de las VPLs excluye la entrada 7.

Cuadro 4. Promedios de parámetros fisiológicos, fenológicos y morfológicos de los cultivares del PRM evaluados a través de 11 localidades en Centro América, el Caribe y México.

Parámetro	HB-85	H-5	P-8916	CBHS7	S.P73	S.Seq	RPM	Cesda	B-1	Media	Fent*	GXE	Hibr*	VPL*	Diff	Fdiff*
Días a flor masc	58.4	63.1	61.4	58.0	60.1	58.4	59.0	57.8	59.1	59.5	***	***	59.3	58.8	0.4	***
Días a flor fem	60.8	66.6	65.2	60.6	63.5	59.8	62.1	60.4	61.8	62.3	***	***	62.2	61.4	0.9	***
Días a madurez fisiol	120.4	118.3	118.9	120.4	118.2	117.4	118.1	114.7	118.6	118.3	*	&	119.9	117.2	2.7	***
Interv florac (ASF)	1.6	2.5	2.6	1.7	2.3	0.5	2.1	1.8	1.8	1.9	**	&	2.0	1.6	0.4	&
Durac llenado grano	61.2	54.1	55.1	61.6	56.9	59.1	57.1	55.8	58.3	57.7	***	ns	59.3	57.5	1.8	**
ARPlanta (cm)	220.0	229.2	215.4	220.8	210.4	188.5	211.2	217.8	203.5	213.0	***	**	218.7	205.1	13.7	***
AHMaz (cm)	120.4	132.7	121.3	117.0	114.7	96.7	112.7	114.9	100.6	114.6	***	***	119.6	106.7	12.8	***
% Acame total	22.2	48.4	41.7	27.7	54.3	23.6	59.6	62.7	32.5	41.4	***	***	30.5	43.3	-12.7	***
% Maz Podridas	13.3	22.6	19.6	14.4	28.4	27.4	29.9	32.2	17.7	22.8	*	*	15.8	26.4	-10.6	***
% Hum grano	19.6	18.4	18.5	19.5	18.0	17.9	18.5	17.2	18.2	18.4	**	&	19.2	17.8	1.4	***
Indice desgrane	0.81	0.81	0.82	0.81	0.79	0.83	0.82	0.81	0.82	0.81	ns	*	0.81	0.81	0.0	ns
Peso 1 grano (g)	0.267	0.237	0.263	0.251	0.233	0.249	0.259	0.271	0.246	0.253	**	ns	0.260	0.250	0.0	*
Plantas por m2	5.24	4.88	5.14	5.28	5.01	5.17	5.01	4.92	5.09	5.08	*	***	5.22	5.05	0.2	***
Mazorcas por m2	4.83	4.04	4.85	4.85	4.31	4.75	4.16	4.27	4.45	4.50	***	***	4.85	4.44	0.4	***
Mazorcas por planta	0.94	0.85	0.97	0.93	0.88	0.93	0.85	0.87	0.89	0.90	**	***	0.95	0.89	0.1	***
Peso Mazorca (g)	113.4	92.7	96.3	116.6	88.4	97.4	89.8	92.2	89.9	97.4	***	***	108.8	92.0	16.8	***
Rend grano (t/ha)	5.47	4.02	4.86	5.73	3.96	4.59	3.81	4.07	4.21	4.52	***	***	5.36	4.21	1.1	***
Rend rastr (t/ha)	5.98	5.62	6.00	5.82	5.61	5.14	5.29	5.67	5.51	5.63	ns	**	5.93	5.48	0.4	ns
Biom total (t/ha)	12.80	10.52	11.63	13.15	10.78	10.95	10.04	10.62	10.89	11.26	***	***	12.53	10.81	1.7	***
Indice Cosecha (%)	37.0	30.5	32.8	38.8	30.4	37.5	31.7	32.9	31.6	33.7	***	***	36.2	33.1	3.1	***
Rend/día (g/día/mz)	2.84	2.63	2.51	2.89	2.28	2.32	2.28	2.41	2.14	2.48	&	ns	2.75	2.29	0.5	**
Num Final Hojas	20.2	20.9	20.9	19.9	20.6	19.5	20.6	19.7	19.8	20.2	***	***	20.3	19.9	0.4	***
Num Hoja Maz	14.3	15.3	14.7	14.1	14.2	13.6	14.7	13.6	13.8	14.2	***	***	14.3	13.8	0.5	***
Num Hojas Verdes	5.9	6.5	6.2	6.1	5.9	5.6	6.4	5.5	5.7	6.0	*	**	6.1	5.7	0.4	***
Num Ram Prim Esp	14.2	15.4	18.3	13.9	16.8	13.0	15.2	15.7	15.7	15.4	***	***	15.5	15.3	0.2	ns
Largo Hoj Maz	97.8	94.9	101.7	97.7	93.3	90.4	95.0	97.0	98.5	96.2	***	***	99.1	94.8	4.3	***
Ancho Hoj Maz	9.7	9.7	10.2	9.6	9.9	10.6	9.5	9.9	10.2	9.9	***	**	9.8	10.2	-0.3	***
Area Hoj Maz (cm2)	714.7	693.2	778.6	706.9	698.4	722.5	682.6	725.6	753.5	720.2	***	***	733.4	725.0	8.4	ns
Num Hiler/Maz	15.6	14.7	14.7	15.5	14.8	14.0	14.4	13.3	14.2	14.6	***	&	15.3	14.1	1.2	***
Num Grano/hil	33.0	32.1	31.5	33.5	31.3	32.0	30.1	32.2	32.5	32.0	***	*	32.7	32.0	0.6	*
Num Grano/Maz	513.7	470.7	463.8	520.7	462.6	450.3	432.0	428.5	462.1	467.2	***	**	499.4	450.9	48.5	***

&, ***, **** representan P<F al 10, 5, 1 y 0.1%, respectivamente.

Promedio híbridos no incluye H-5 (ent 2), y promedio de VPLs no incluye RPMxC17 (ent 7).

Los parámetros fenológicos y morfológicos (número final de hojas, número de la hoja mazorca, número ramas primarias de espiga, tamaño de la hoja de la mazorca, etc.) muestran pocas diferencias significativas entre los híbridos y las VPLs como grupos de germoplasma.

Es de notar también la superioridad de los híbridos, en especial CB-HS7 y HB-85, en comparación con las VPLs en algunas características agronómicas. Los híbridos mostraron 13% menos pudrición de mazorcas y 11% menos de acame que las VPLs (Cuadro 4). Muchas de las VPLs mostraron altos porcentajes de acame y pudrición de mazorca. El cultivar RPMxC17, con supuesta tolerancia a pudrición de mazorca, y población base del proyecto del PRM para tolerancia a pudrición de mazorca, mostró uno de los porcentajes más elevados.

Sin embargo, hay diferencias notables en algunos cultivares. Por ejemplo, los híbridos H-5 y P-8916 son más tardíos que los otros cultivares, tienen el mayor número final de hojas, mayor altura de planta, menor índice de cosecha y menor duración de llenado de grano dentro de los híbridos. El P-8916 tiene también el mayor número de ramas primarias de espiga. El Sint. Sequía, basado en Tuxpeño C6 Sequía, tiene historia de selección para sincronía floral bajo estrés. Estudios por Bolaños y Edmeades (1993a) mostraron una correlación entre la sincronía floral bajo estrés y una mayor distribución de la materia seca hacia la mazorca. Este cultivar tiene el menor número de ramas primarias de espiga, la menor altura de planta, la mejor sincronía floral, el mayor número de mazorcas por planta e índice de cosecha en las VPLs. El hecho que el Sint. Sequía rinde consistentemente superior a las otras VPLs confirma los resultados obtenidos por Bolaños y Edmeades (1993a) sobre la eficacia de la selección bajo estrés para el mejoramiento en maíz tropical. El B-1 representa germoplasma con genealogía similar al Sint. Sequía liberado a fines de los 1970's. Comparaciones entre ellos pueden ofrecer pautas de las ganancias genéticas adquiridas en los últimos años con un esquema de selección bajo estrés (Bolaños y Edmeades, 1993a).

Bases Fisiológicas del Rendimiento

El rendimiento final de cada cultivar es el producto de la tasa diaria del llenado de grano por el total de días de llenado. La Figura 2 (a,b,c.) muestra la relación entre rendimiento, tasa de crecimiento de la mazorca por día de llenado, y la duración del llenado de grano para los distintos cultivares del PRM. A

pesar de grandes diferencias en rendimiento y duración del llenado entre los híbridos y las VPLs, es sorprendente la similitud en la tasa de crecimiento de la mazorca por día dentro de cada grupo de germoplasma (Fig. 2b). Los híbridos distribuyen cerca de 2.7 g a la mazorca por cada día de llenado de grano, mientras que las VPLs solamente 2.3 g/día (este número solamente incluye el crecimiento del grano, excluyendo el olote y las hojas de la mazorca). Es importante recalcar la similitud en esta eficiencia dentro de cada grupo de germoplasma, ya sea dentro de híbridos o dentro de las VPLs. Estos datos, si se confirman también en otros cultivares, sugieren que quizás la base fisiológica de la heterosis obtenida en la generación de híbridos está relacionada con su eficiencia del llenado de grano.

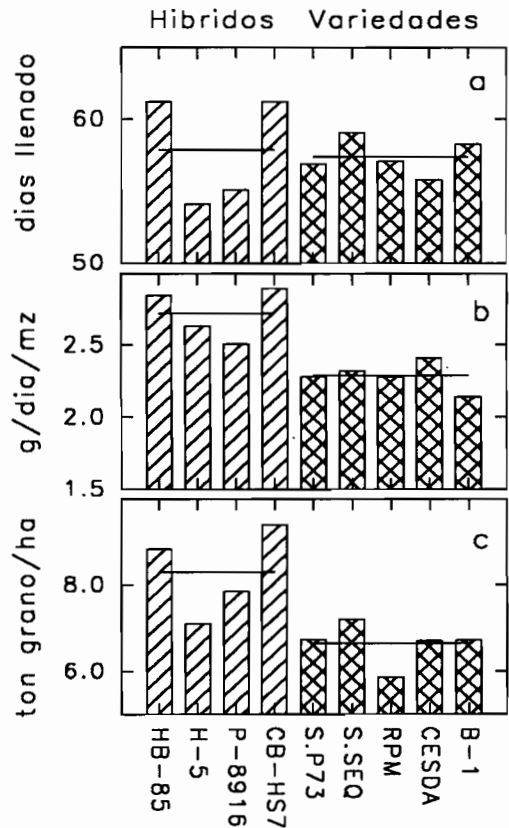


Figura 2. Relación entre (a) duración del llenado de grano en días, (b) el crecimiento diario del grano de la mazorca por cada día de llenado (g/día), y (c) el rendimiento por hectárea (ton/ha) de los cultivares evaluados del PRM. Los datos son de San Jerónimo (Guatemala), Río Hato (Panamá) y Tlaltzapán (México) durante 1992.

Dentro de los híbridos, el progreso genético obtenido a la fecha parece descansar en un alargamiento efectivo del llenado de grano y no de cambios en la eficiencia. Los híbridos CB-HS7 y HB-85 llenan grano 6 días más que el H-5 y el P-8916. El H-5 refleja el progreso genético existente en la región en los 1960's, cuando fue liberado, pero aún se siembran más de 100 mil ha por año. Sin embargo, el híbrido P-8916 aún tiene características de madurez tardía, excesivo follaje, espiga grande, duración corta de llenado de grano y bajo índice de cosecha. Estos datos son consistentes con los ensayos uniformes del PCCMCA, conducidos anualmente por el PRM, donde los híbridos amarillos rinden consistentemente por debajo de los blancos (Quemé y Fuentes, 1992; Urbina, 1993).

El rendimiento inferior de las VPLs en comparación con los híbridos depende de una menor eficiencia de llenado de grano y no solamente de la duración del llenado. Todas las VPLs tienen duraciones de llenado de grano entre 56 y 59 días con pocas diferencias entre sí (Fig. 2a). El Sint. Sequía sobresale por tener la mayor duración de llenado de grano.

Una gráfica entre la duración del llenado de grano, días a floración y número final de hojas muestra una relación negativa significativa entre madurez, número final de hojas y el llenado de grano (Figura 3a, 3b). Estos datos sugieren, por lo menos dentro de este grupo de cultivares, que el aumento en la duración del llenado de grano está relacionado con el proceso de una selección efectiva para maíces más precoces en días a floración pero con alto rendimiento. Muchos autores han encontrado que los maíces precoces son más eficientes con mayores índices de cosecha (Paterniani, 1990; Pandey and Gardner, 1990). Los resultados indican que prolongar la fase de llenado de grano parece ser un método efectivo para incrementar el rendimiento. Asumiendo una población de 50 mil mz/ha y una tasa promedio de llenado de 2.5 g/día, se puede estimar que el rendimiento aumenta en 125 kg/ha por cada día adicional de llenado de grano.

Es poco probable que viveros de selección con más de 200 entradas con varias repeticiones puedan examinar en detalle la duración del llenado de grano directamente. Datos de humedad de grano y calificaciones del desarrollo de la línea de leche tomados en el ensayo 9 muestran una correlación importante entre el desarrollo de la madurez fisiológica y la humedad de grano independiente del cultivar (Figura 4a,b).

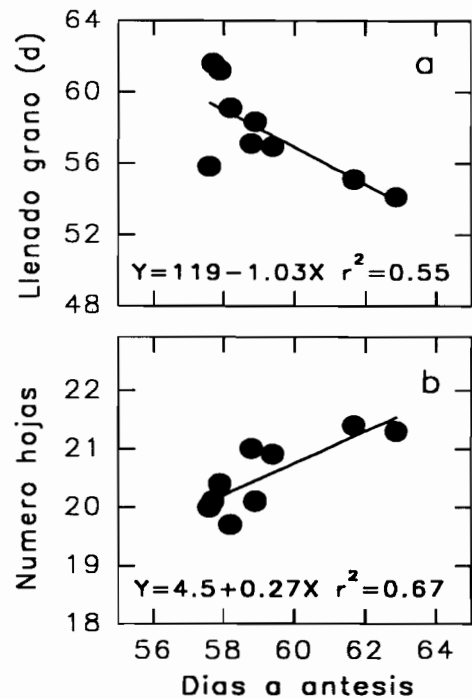


Figura 3. Relación entre la duración del llenado de grano (días) y (a) el número final de hojas, y (b) días a la floración masculina para los cultivares del PRM. Los datos son de San Jerónimo (Guatemala), Rio Hato (Panamá) y Tlaltzapán (México) durante 1992.

Los datos muestran que la humedad de grano puede ser un fácil indicador para monitorear la madurez fisiológica (alcanzada con calificación de 4.5 en la escala usada). La capa negra parece formarse cuando la humedad del grano se acerca al 30% (Fig. 4a), lo cual ocurre de 60 a 70 días después de la floración femenina, según el cultivar (Fig. 4b).

Cosechando cerca a la madurez fisiológica, o sea, con humedad de grano alrededor de 30%, y con el análisis juicioso de los datos de madurez (días a floración), de humedad de grano (para identificar llenado corto o llenado largo) y de rendimiento (tamaño grande de mazorcas reflejando altas tasas de llenado), se puede integrar un índice para identificar materiales precoces, con largo llenado de grano y alto rendimiento. Es muy factible integrar estos criterios en los programas actuales de selección dentro del PRM, ya sea en los esquemas de selección recurrente o los de endocriamiento y generación de líneas para su posterior hibridización.

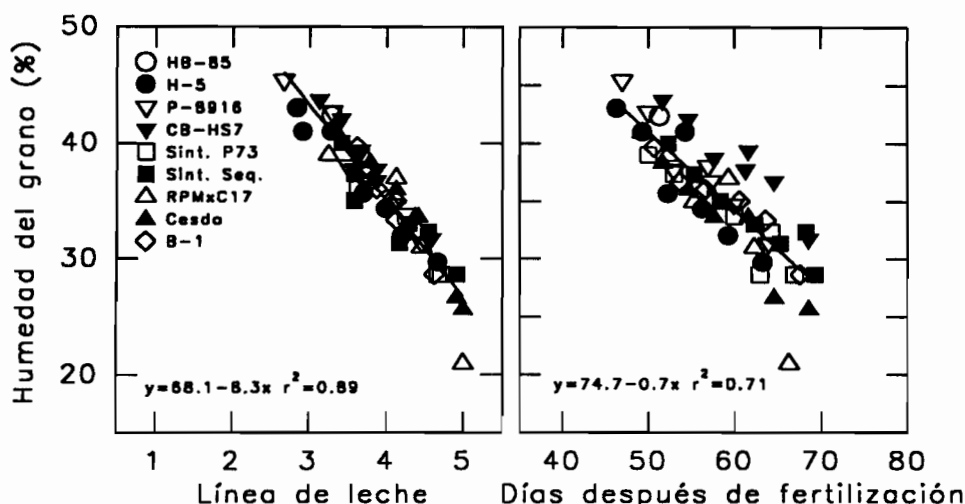


Figura 4(a,b). Relación entre humedad del grano y: (a) una calificación visual de la línea de leche (escala de 0-5, 5 siendo madurez fisiológica); y (b) tiempo después de la floración femenina (días), durante la fase del llenado de grano para los cultivares del PRM. Los datos son de Tlaltzapán (México) durante 1992.

CONCLUSIONES

1. Dentro de los cultivares del PRM evaluados, los híbridos rinden consistentemente de 1.0 a 1.5 ton/ha por encima de las VPLs, aún en ambientes con bajo potencial de rendimiento.

2. Los híbridos CB-HS7 y HB-85 mostraron el mejor comportamiento a través de todos los ambientes muestreados. Dentro de las VPLs, el Sint. Sequía superó a las demás, en particular en ambientes con estrés de sequía y baja fertilidad. El híbrido H-5, liberado en los 1960's, fue superado por la mayoría de las VPLs, y el cultivar RPMxC17 tuvo un comportamiento muy pobre. Las VPLs restantes, B-1, Cesda-88 y el Sint. P73 mostraron un comportamiento similar.

3. Las diferencias en rendimiento entre los distintos cultivares se deben a una combinación de mejor eficiencia de llenado (híbridos versus VPLs) y una mayor duración de la fase de llenado de grano. La mazorca crece 2.7 g/día de llenado en los híbridos, pero solamente 2.3 g/día en las VPLs. Los híbridos CB-HS7 y HB-85 prolongan el llenado de grano más de 6 días que los demás cultivares. El rendimiento final de cada cultivar es el producto de esta eficiencia por los días de llenado.

4. Se detectó una fuerte relación negativa entre la madurez y la duración del llenado de grano,

sugiriendo que a medida que el genotipo se hace más precoz pasa menos tiempo produciendo hojas y más tiempo llenando el grano. Se recomienda que los esquemas de mejoramiento del PRM contemplen estos criterios de selección. La humedad de grano puede servir como indicador fácil para identificar la duración del llenado de grano en los programas de mejoramiento.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Carlos Pérez, José Luis Quemé, Salvador Castellanos, Fidencio Guerra, Luis Brizuela, Pedro Campos, Róger Urbina, Marvin Obando, Ismael Camargo, Alfonso Alvarado, Rodolfo Pierre, Richard Ortiz, René Lafitte, Greg Edmeades, Mariane Bazinger y muchos otros, por conducir estos ensayos en las distintas localidades y a Edith Tello por la paciente labor de entrada de datos.

REFERENCIAS

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. and G.O. Edmeades. 1993a. Eight cycles of selection for drought tolerance in tropical maize. I.

Responses in yield, biomass and radiation utilization. *Field Crops Res.* 31:233-252.

Bolaños, J. y G.O. Edmeades. 1993b. La fenología del maíz. p xx-yy en: *Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992*, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.

Bolaños, J., M. Obando, R. Urbina y M. Mendoza. 1993. Respuesta a densidad de los cultivares del PRM. p. 20-26 en: *Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992*, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.

Córdova, H. 1991. Desarrollo y mejoramiento de germoplasma para resistencia a factores adversos bióticos y abióticos y producción de semillas: Estrategias y logros 1986-1991. p. 1-15 en: *Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma para Resistencia a Factores Adversos Bióticos y Abióticos 1990*, CIMMYT, Guatemala.

Duvick, D.N. 1977. Genetic gains of grain in hybrid maize yields during the past 40 years. *Maydica* 22:187-196.

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

Fischer, K.S., and A.F.E. Palmer. 1984. Tropical maize. p. 213-248 in: P.R. Goldsworthy and N.M. Fisher (Eds.) *The Physiology of Tropical Crops*, John Wiley and Sons, New York.

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

Pandey, S., A.O. Diallo, T.M.T. Islam and J. Deutsch. 1987. Response to full-sib selection in four medium maturity maize populations. *Crop Sci.* 27:1241-1245.

Paterniani, E. 1990. Maize breeding in the tropics. *Critical Rev. Plant Sci.* 9(2):125-154.

Quemé, J.L. y M. Fuentes. 1992. Evaluación de híbridos de maíz de grano blanco y amarillo en diferentes ambientes de México, Centro América, el Caribe y Venezuela. p. 11-30 en: *Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM 1991*, Vol. 3, CIMMYT, Guatemala.

Russell, W.A. 1984. Agronomic performance of maize cultivars representing different eras of breeding. *Maydica* 29:375-390.

Russell, W.A. 1985. Evaluations for plant, ear and grain traits of maize cultivars representing seven years of breeding. *Maydica* 30:85-96.

Urbina, R. 1993. Evaluación de híbridos de maíz de grano blanco y amarillo en ambientes de Centro América, Panamá, el Caribe y México. p. 27-38 en: *Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM 1992*, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.

Respuesta a Densidad en Cultivares del PRM¹

J. Bolaños², M. Obando³, R. Urbina³ y M. Mendoza³

RESUMEN

Una buena parte de las ganancias genéticas obtenidas en maíz se deben a una mayor tolerancia a densidad de población. Este trabajo tiene por objetivo caracterizar la respuesta a densidad de los cultivares más importantes del PRM. Se evaluaron 9 cultivares (4 híbridos y 5 variedades de polinización libre, VPLs) en dos tipos de ensayos. En el verano de 1992 (Jun-Sep) los cultivares se evaluaron bajo 2 densidades (3.0 y 7.5 pl/m²) en 3 repeticiones cada una, y en el invierno de 1992/93 (Oct-Feb) se estableció un diseño logarítmico con 4 repeticiones donde la distancia entre golpes dentro de la parcela variaba sistemáticamente produciendo un rango de 2.5 a 15.0 pl/m² en 5 m de largo. En ambos ensayos la respuesta a densidad se analizó por regresión lineal entre el logaritmo del rendimiento por planta y la densidad. En el rango de densidades agronómicas (3.0-6.5 pl/m²), los híbridos rindieron cerca de 1.0-1.3 ton/ha por encima de las VPLs, con excepción del H-5, que rindió muy por debajo de los demás. Dentro de las VPLs, el Sint. Sequía superó a todas las demás. El rendimiento fue mayor en verano que en invierno, pero las diferencias relativas entre los genotipos se mantuvieron a través de ambos ciclos. La densidad óptima osciló entre 3.5-4.0 pl/m² en verano, 4.5-5.0 pl/m² en invierno y cerca de 4.0 pl/m² a través de ambos ambientes, pero sin detectar diferencias significativas en la tolerancia a densidad entre híbridos y VPLs. En base a los resultados, el método de 2 densidades (3.5 y 7.0 pl/m²) resultó adecuado para evaluar la respuesta a densidad del maíz, y es menos complicado en su diseño y análisis que el método logarítmico.

La tolerancia a densidad ha sido una de las causas del aumento en rendimiento de los cultivares de maíz modernos (Pandey and Gardner, 1992). Mientras que los híbridos disponibles en la zonas templadas tienen densidades óptimas mayores a las 7.0 pl/m² (70 mil pl/ha), los cultivares tropicales de maíz las tienen aún por debajo de 5.0 pl/m² (Fischer and Palmer, 1984). Densidades bajas de población son una de las razones fundamentales de los bajos rendimientos de maíz encontrados en los trópicos (Bolaños y Barreto, 1991; Bolaños *et al.*, 1993).

La evaluación de la respuesta a densidad de cultivares locales ha sido un tema común en la investigación local y regional. En ensayos con NB-6

en la zona del Pacífico de Nicaragua, Ponce (1992) no encontró diferencias significativas entre 6.4 y 8.6 pl/m², pero ambas fueron superiores a 4.2 pl/m². Más de 3 años de ensayos evaluando la respuesta a densidad en NB-6 en más de 15 localidades no lograron concluir con precisión sobre la densidad óptima, pero parece oscilar entre 4.2 y 6.6 pl/m² (MAG, 1991). Bruno y Urbina (1990), reportaron rendimientos de 3.9, 4.9, 6.7 y 7.2 t/ha cuando la densidad varió de 3.3, 4.4, 6.6 y 8.8 pl/m², respectivamente, comparando NB-12 con un criollo local. En Panamá, Gordón *et al.* (1991) evaluando 2 híbridos a 4 densidades (5.0, 5.3, 5.7, 6.2 pl/m²) no logró detectar diferencias significativas para densidad, con rendimientos de 5.45, 5.38, 5.25 y 4.95 t/ha, respectivamente. Escobar *et al.* (1991) en un factorial de 3 niveles de densidad x 3 niveles de N x 2 niveles de P con el híbrido HE-104 en El Salvador tampoco encuentra diferencias significativas en rendimiento a niveles de 4.0, 5.0 y 6.0 pl/m². Quiroz *et al.* (1989), usando 27 niveles de densidad (de 2.7 a 5.3 pl/m²) no logró detectar diferencias significativas al evaluar la respuesta a densidad de un maíz criollo en Panamá.

Normalmente la respuesta a densidad de cultivares se ha evaluado estableciendo de 4 a 5 niveles de densidad (en intervalos de 0.5 a 1.0 pl/m²) con varias repeticiones en parcelas de 15-20 m² y algunas veces en combinación factorial con otro factor (típicamente niveles de N, potencial ambiental, estrés hídrico, etc.), por lo que tradicionalmente son ensayos muy grandes y costosos. Los datos se han interpretado analizando rendimiento por hectárea como una función cuadrática de la densidad, o alguna otra función curvilínea. En muchos de los casos, la alta variabilidad, dificultad en mantener la densidad teórica en el campo, y otros factores no han permitido precisar la respuesta a densidad de los cultivares evaluados.

Otra manera de evaluar la respuesta a densidad ha sido el uso de diseños sistemáticos de espaciamiento (Nelder, 1962; Bleasdale, 1967). En estos la densidad se establece variando la distancia y arreglo entre surcos (radiales, rectangulares) y entre golpes (fijos, variables). La respuesta a densidad se analiza por regresión. Dyson y Douglas (1975) encontraron buena concordancia en maíz entre un diseño sistemático con surcos radiales y espaciamiento tradicional en bloques

¹PRM, Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe.
²Agrónomo Regional para Centro América y el Caribe, CIMMYT, Guatemala. ³Investigadores, Programa de Maíz, Centro Nacional de Investigación en Granos Básicos (CNIGB), Nicaragua.

completos al azar. Estos métodos han sido populares por el ahorro considerable de espacio, pero añade muchas dificultades en la implementación y el análisis de los datos.

Modelo de Duncan

Duncan (1958) mostró que el rendimiento por planta (rend/pl) en maíz decrece exponencialmente con la densidad (pl/m²). El rendimiento por planta se se calcula dividiendo el rendimiento por hectárea entre la densidad (rend/pl = rend/ha / pl/ha). 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). En términos prácticos, se hace una regresión lineal entre el log (rend/pl) y la densidad:

$$\log(\text{rend/pl}) = a - b(\text{dens}) \quad (1)$$

donde a y b son el intercepto y pendiente generadas por la regresión, por lo que,

$$\text{rend/pl} = e^{(a - b(\text{dens}))} \quad (2)$$

y dado que el rend/ha es el producto del rend/pl por la densidad:

$$\text{rend/ha} = \text{dens} * e^{(a - b(\text{dens}))} \quad (3)$$

y resolviendo esta ecuación para la densidad óptima (donde la derivada es igual a 0):

$$\text{dens}(\text{óptima}) = -1/b \quad (4)$$

Con los parámetros a y b de la regresión se puede entonces establecer la respuesta a densidad (ecuación 3), la densidad óptima (ecuación 4) y el rendimiento a esta densidad óptima. Una de las conclusiones del método de Duncan (1958) posibilita evaluar la respuesta a densidad de cualquier cultivar de maíz con solamente 2 niveles de densidad, ya que solamente se necesitan 2 puntos para establecer una relación lineal. La solidez de la relación dependerá de la solidez de los 2 puntos obtenidos. Para mejor interpolación a nivel agronómico, normalmente estas 2 densidades se establecen para que estén a ambos lados del nivel óptimo pero aún dentro de un rango apropiado agronómicamente. Por ejemplo, si la densidad óptima es cercana a 5.0 pl/m², dos niveles convenientes son el uso de densidades de 3.0 a 3.5 pl/m² para el nivel inferior y de 7.0 a 8.0 pl/m² para el nivel superior. Ambos niveles son agronómicamente relevantes y

permiten una estimación adecuada del rendimiento en el maíz.

El objetivo de este trabajo es caracterizar la respuesta a densidad de los cultivares del Programa Regional de Maíz (PRM), dentro del contexto de una caracterización más completa de algunos parámetros fisiológicos, fenológicos y morfológicos estándares en la elaboración del rendimiento en estos cultivares (Bolaños, 1993). Otro objetivo secundario era comparar 2 métodos para estimar la respuesta a densidad en maíz: a) el método de las 2 densidades, y b) un método de siembra logarítmica.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizó semilla fresca proveída por todos los Programas Nacionales participantes para el ensayo. Se evaluaron 9 cultivares: 4 híbridos (HB-85, H-5, P-8916 y CB-HS7) y 5 variedades de polinización libre (VPLs) (Sintético Regional Pob. 73, Sintético Regional Sequía, RPMxC17, Cesda-88 y B-1). Estos ensayos de densidad fueron parte del esfuerzo de entender las bases fisiológicas del progreso genético en los cultivares del PRM (Bolaños, 1993).

Ensayo de 2 Densidades

En Junio de 1992, en la estación experimental de San Cristóbal, CNIGB, Nicaragua, como parte del ensayo para evaluar las bases fisiológicas del progreso genético de los cultivares del PRM, se establecieron ensayos en un diseño de bloques completos al azar con 9 cultivares y 3 repeticiones a 2 niveles de densidad. Se sembraron 2 semillas por golpe (para ralear posteriormente a 1) a 0.33 y 0.17 m entre sí en surcos de 0.8 m para obtener densidades aproximadas de 3.5 y 7.0 pl/m², respectivamente, en parcelas de 5 surcos de 8 m de largo. Para las mediciones solamente se usaron plantas con bordo adecuado en los 3 surcos centrales de la parcela. El ensayo recibió fertilización y manejo adecuado (150 kg N/ha, 40 kg P₂O₅/ha, control de malezas, plagas y enfermedades), pero el cultivo sufrió altas temperaturas, fuertes vientos y estrés de sequía cerca a la floración.

A la madurez, se cosechó un área útil de 12 m² por parcela, determinando todos los parámetros estándares de cosecha, como número de plantas, de mazorcas, peso de grano, humedad de grano, etc. El rendimiento de grano se calculó después de estandarizar a 15% de humedad y descontar el olote. Se calcularon los parámetros estándares de cosecha, como pl/m²,

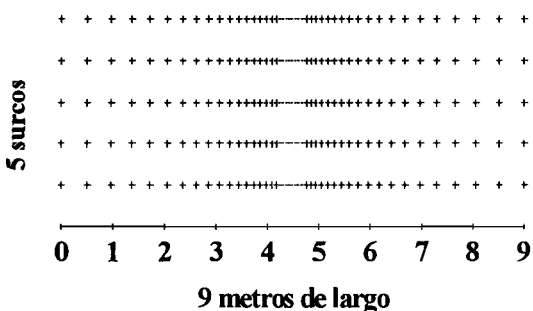
mz/m², peso de mazorca, mz/pl, etc. El rendimiento por planta (rend/pl) se calculó dividiendo el rendimiento por área entre la densidad. La respuesta a densidad de cada cultivar (3 reps en 2 densidades) se analizará por regresión lineal entre el log (rend/pl) y la densidad (pl/m²). En base a estos parámetros de regresión se calculó la densidad óptima y el rendimiento máximo.

Ensayo Logarítmico

En Octubre de 1992, se estableció otro ensayo con los mismos 9 cultivares en la estación experimental de Santa Rosa (a 4 km de San Cristóbal, pero clima más benigno). El ensayo recibió fertilización y manejo adecuado (150 kg N/ha, 40 kg P₂O₅/ha, control de malezas, plagas y enfermedades). Se usó un diseño logarítmico de siembra en bloques completos al azar en 2 repeticiones, en parcelas de 5 surcos de 9 m de largo y 0.8 m de ancho. En cada parcela, la distancia entre golpes se redujo sucesivamente desde ambos extremos de la parcela hacia el centro, formando imagenes espejas (Cuadro 1).

Cada distancia entre golpes se reducía sucesivamente en 10%, creando una gradiente logarítmica de la densidad en cada golpe sucesivo. Las distancias entre golpes fueron las siguientes: 0.50, 0.45, 0.41, 0.36, 0.33, 0.30, 0.27, 0.24, 0.22, 0.19, 0.17, 0.16, 0.14, 0.13, 0.11, 0.10, 0.09, 0.08, 0.07, 0.06, y 0.05 m (desde 2.5 pl/m² en los extremos a 22.5 pl/m² en el centro), para aumentar paulatinamente en forma inversa hasta terminar en 0.50 m de distancia entre golpes al otro extremo, para un total de 45 golpes.

Cuadro 1. Mapa de las parcelas experimentales del ensayo logarítmico (5 surcos de 9 m de largo). Cada cruz representa 1 planta dentro del diseño sistemático de variación de densidad dentro de la parcela.



Al momento de la cosecha, se eliminaron las áreas del centro de cada parcela donde las densidades eran mayores a 15 pl/m² (distancias entre golpes inferiores a 0.10 m) debido a la pérdida de muchas plantas por estrés y una densidad mucho más baja que la teórica. Problemas de mal establecimiento y malezas afectaron fuertemente la población de plantas deseada también en otras partes del ensayo, causando alteraciones importantes en las densidades efectivas por golpe y el diseño sistemático continuo. En base a la población efectiva de plantas por golpe, se calculó la densidad real ajustando por la presencia de las 5 plantas de cada surco, así como la presencia de las plantas de los golpes adyacentes. Para el análisis, se eliminaron todos los golpes que tenían más del 50% de plantas faltantes, o aquellos que estaban bordeados por golpes con más de 50% de plantas faltantes.

Se determinó el rendimiento en los 3 surcos centrales de cada parcela por golpe individual, comenzando desde los extremos (golpes a 50 cm). Los datos se analizaron por regresión lineal entre el log (rend/pl) y la densidad en cada lado de cada parcela (2 lados en cada uno de los 2 reps), para establecer 4 regresiones por cultivar. A los parámetros de regresión se les efectuó un análisis de varianza combinada a través de 4 repeticiones. Solamente se analizó la variable rendimiento de grano, sin determinar los componentes estándares de rendimiento. Con los parámetros de regresión, se calculó la densidad óptima, el rendimiento máximo y la respuesta a densidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las densidades finales obtenidas en el ensayo de verano (ensayo de 2 densidades) fueron de 3.65 y 7.38 pl/m², con rendimientos asociados de 4.31 y 3.33 t/ha, respectivamente (Cuadro 2). La alta densidad redujo tanto el número de mazorcas por planta (de 0.95 a 0.66) y su peso promedio (de 124 a 67 g/mz). Esta reducción en el peso promedio de mazorca es la base de la relación exponencial de Duncan (1958).

En contraste, el ensayo logarítmico se estableció en siembras de postrera bajo riego controlado, sin embargo, un poco fuera de su época normal. Debido a problemas de establecimiento y estrés, muchos de los golpes en el ensayo mostraron fallas al momento de la cosecha. La pérdida de plantas en un diseño sistemático como el usado en este trabajo presentó problemas serios en el análisis de los datos.

Cuadro 2. Componentes de rendimiento en los ensayos de baja y alta densidad para estimar la respuesta a densidad de 9 cultivares de maíz en el verano de 1992 en San Cristóbal, Nicaragua.

	Baja Dens	Alta Dens
Días a flor masc	52.2	52.4
Plantas por m ²	3.65	7.38
Mazorcas por m ²	3.45	4.92
Peso maz (g)	124	67
Maz / planta	0.95	0.66
Rend grano (ton/ha)	4.31	3.33

La Figura 1 muestra las respuestas a densidad de los 9 cultivares evaluados en base al análisis de regresión entre el log(rend/pl) y la densidad para ambos tipos de ensayos, el de 2 densidades (Fig. 1a) y el logarítmico (Fig. 1b). Las gráficas muestran los datos reales así como la respuesta predicha por la regresión. En algunos casos existe mucha variabilidad, los datos reales (rend/ha) mostrando poca relación aparente con la densidad. El Cuadro 3 presenta los parámetros de regresión obtenidos de ambos métodos para los cultivares evaluados, ecuaciones que sirven de base a las respuestas predichas a densidad.

Cuadro 3. Parámetros de regresión entre el log (rend/pl) y densidad para 9 cultivares del PRM para el ensayo de 2 densidades y el ensayo logarítmico.

Cultivar	Ensayo de 2 densidades		Ensayo logarítmico	
	Intercp	Pend	Intercp	Pend
HB-85	5.95	-0.287	5.42	-0.188
H-5	5.65	-0.330	5.33	-0.208
P-8916	5.78	-0.256	5.45	-0.218
CBHS7	6.05	-0.290	5.45	-0.174
S.P73	5.40	-0.224	5.63	-0.282
S.Sequia	5.75	-0.268	5.31	-0.214
RPM	5.30	-0.219	5.34	-0.273
Cesda	5.86	-0.365	5.42	-0.232
B-1	5.56	-0.287	5.17	-0.219
Híbridos ¹	5.92	-0.278	5.44	-0.193
VPLs ¹	5.64	-0.286	5.38	-0.237
Diff	*	ns	ns	**

¹Híbridos es promedio de entradas 1, 3 y 4 (excluye entrada 2, y VPLs en promedio de entradas 5, 6, 8 y 9 (excluye entrada 7).

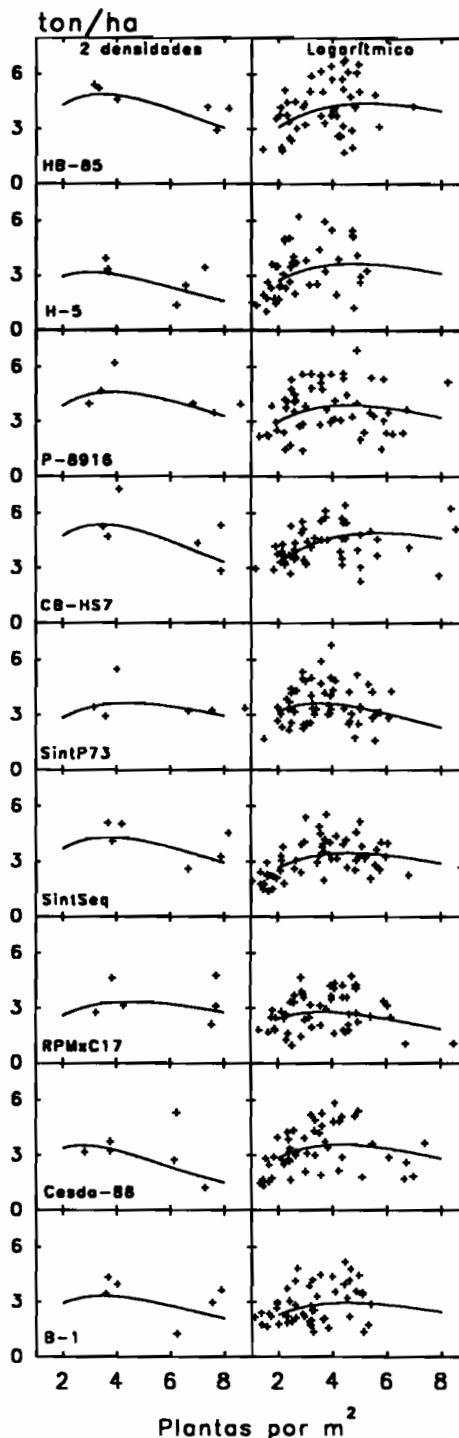


Figura 1. Rendimiento de grano (ton/ha) en función de la densidad de plantas (pl/m²) de los 9 cultivares en (a) el ensayo de las 2 densidades (3.5 y 7.0 pl/m²) y (b) el ensayo de diseño logarítmico. Las curvas representan la respuesta a densidad predicha analizada según el modelo de Duncan (1958).

Una comparación más clara entre los cultivares se observa en la Figura 2 (a,b). En ambos tipos de ensayos los híbridos CB-HS7, HB-85 y P-8916 superaron a todos los demás cultivares. El híbrido H-5 mostró un comportamiento muy pobre, por debajo incluso de las VPLs. El Sint.Seq. mostró muy buen comportamiento por encima de las demás VPLs. Las VPLs B-1, RPM, Sint. P73 y Cesda mostraron comportamiento similar, muy por debajo de los híbridos. A través de todas las densidades, los híbridos rindieron consistentemente cerca de 1.5 a 2.0 t/ha por encima de las VPLs. La densidad óptima predicha fue cerca de 3.5 pl/m² para el ensayo de verano, y entre 4.5 y 5.0 pl/m² para el ensayo logarítmico, pero sin mayor interacción cruzada entre los cultivares a través de los ciclos. Estas diferencias entre el ciclo de verano e invierno pueden deberse a distintos potenciales de rendimiento en ambos ambientes, al alto grado de incertidumbre en el ensayo logarítmico, o a alguna interacción entre los 2 tipos de métodos para evaluar la respuesta a densidad.

El Cuadro 4 presenta las densidades óptimas y el rendimiento máximo calculadas en base a los 2 tipos de ensayos, existiendo buena concordancia entre los cultivares para ambos métodos, a pesar de algunas pequeñas interacciones. Ambos identifican a los híbridos CB-HS7, H-5 y P-8916 como los más rendidores, así como la inferioridad de las VPLs y del híbrido H-5.

Cuadro 4. Densidad óptima y rendimiento máximo en base a los parámetros de regresión lineal entre log (rend/pl) y densidad para 9 cultivares de maíz en base al ensayo de 2 densidades (3.5 y 7.0 pl/m²) y el ensayo de diseño logarítmico de siembra. Los datos son de Nicaragua en 1992.

Cultivar	Ensayo de 2 densidades		Ensayo logarítmico	
	Dens óptima pl/m ²	Rend máx t/ha	Dens óptima pl/m ²	Rend máx t/ha
HB-85	3.48	4.90	5.32	4.42
H-5	3.03	3.17	4.81	3.65
P-8916	3.90	4.63	4.59	3.92
CBHS7	3.45	5.38	5.74	4.93
S.P73	4.46	3.64	3.54	3.63
S.Sequia	3.73	4.32	4.66	3.47
RPM	4.57	3.36	3.67	2.80
Cesda	2.74	3.55	4.32	3.59
B-1	3.48	3.32	4.57	2.96
Híbridos ¹	3.60	4.95	5.18	4.39
VPLs ¹	3.50	3.64	4.22	3.37
Diff	0.10	1.31	0.96	1.02

¹Híbridos es promedio de entradas 1, 3 y 4 (excluye entrada 2, y VPLs en promedio de entradas 5, 6, 8 y 9 (excluye entrada 7).

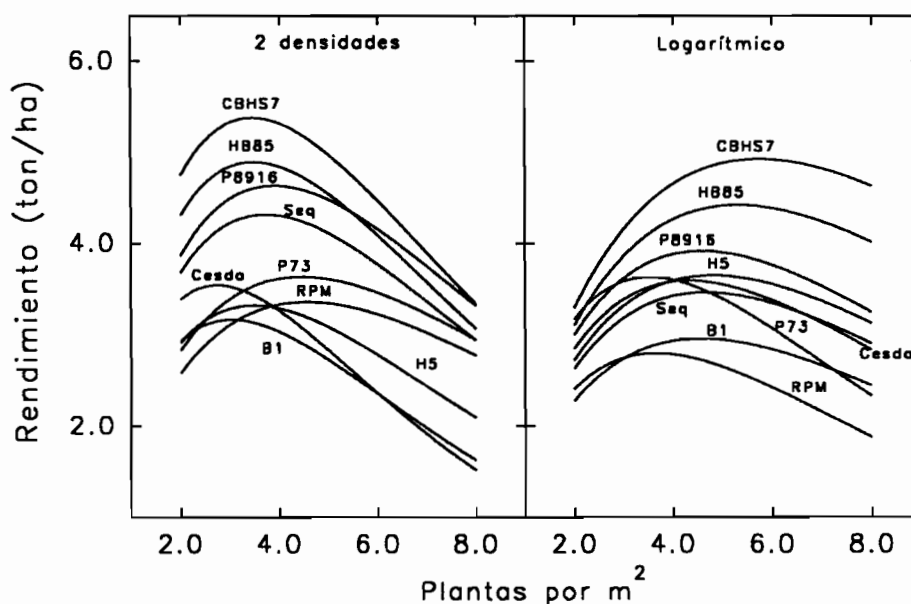


Figura 2. Respuesta predicha a densidad de 9 cultivares del PRM basada en la relación lineal entre el log (rend/pl) y la densidad basada en 2 tipos de ensayos: (a) ensayo de 2 densidades (3.5 y 7.0 pl/m²), y (b) ensayo logarítmico.

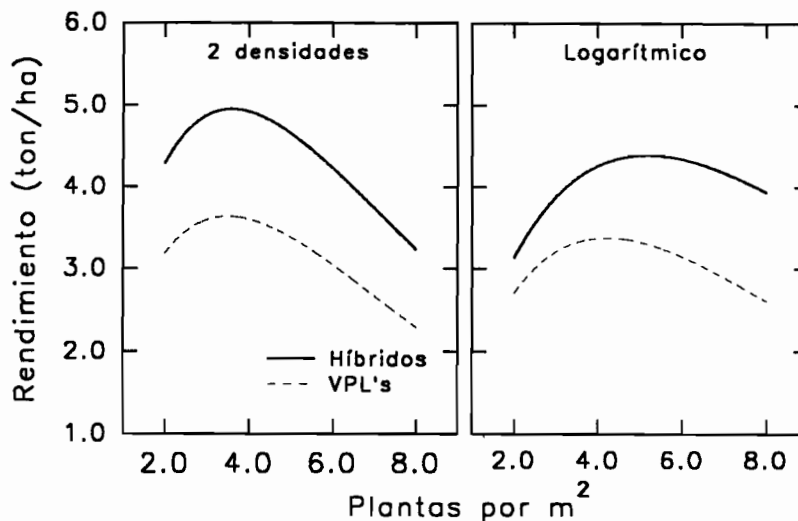


Figura 3. Relación entre rendimiento (t/ha) y densidad predicha para híbridos (excluyendo entrada 2) y VPLs (excluyendo entrada 7) en: (a) el ensayo de 2 densidades (3.5 y 7.0 pl/m²), y (b) el ensayo logarítmico.

Un promedio entre los híbridos superiores (CB-HS7, HB-85 y P-8916) y las VPLs superiores (P73, Sequía, Cesda y B-1) muestra claramente la superioridad en rendimiento y mayor tolerancia a densidad de los híbridos en ambos ensayos (Fig 3a,b). Estos datos concuerdan con los resultados en la evaluación fisiológica de los mismos cultivares (Bolaños, 1993).

Existe una asociación débil entre mayor rendimiento y mayor tolerancia a densidad en los cultivares del PRM evaluados. En el ensayo de 2 densidades no se detectaron diferentes densidades óptimas para híbridos y VPLs, pero sí en el ensayo logarítmico. Los resultados obtenidos no soportan claramente la hipótesis de una ganancia en la tolerancia a densidad asociada a los cultivares del PRM.

CONCLUSIONES

1. Se usó el método de Duncan (1958) basado en el decrecimiento exponencial del rendimiento por planta con aumento en la densidad para analizar 2 tipos de ensayos para evaluar la respuesta a densidad en cultivares del PRM.
2. En ambos casos, los híbridos CB-HS7, HB-85 y P-8916 fueron superiores a todas las demás entradas y mostraron una densidad óptima un poco mayor. En promedio, las VPLs tuvieron rendimientos 1.0 a 1.3

ton/ha menores a los híbridos en el rango óptimo.

3. La densidad óptima fue cercana a los 3.5 pl/m² para híbridos y VPLs en el ensayo de verano. En el ensayo de invierno, fue de 4.5 pl/m² para las VPLs y 5.2 pl/m² para los híbridos. Estas diferencias pudieron deberse quizás debido a un mayor estrés ambiental y menor potencial de rendimiento en el verano que el invierno.

4. Debido a la sencillez del método de las 2 densidades, y las dificultades inherentes a diseños sistemáticos, se recomienda usar el método de las 2 densidades para evaluar preliminarmente la respuesta a densidad de cultivares de maíz. Se recomienda el uso de la regresión lineal entre el log (rend/pl) y la densidad para establecer la respuesta a densidad de cultivares de maíz.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Julio Pérez y Rafael Obando por asistencia en la cosecha del ensayo, y a Edith Tello por la paciente labor de entrada de datos.

REFERENCIAS

Bleasdale, J.K.A. 1967. Systematic designs for spacing experiments. *Experimental Agriculture* 3:73-77.

- Bolaños, J. 1993. Bases fisiológicas del progreso genético en los cultivares del PRM. p. 11-19 en: Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM 1992. Vol 4., 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., 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 parcelas de maíz en Centro América. pp. xxx-xxv en: Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- Bruno, A., y R. Urbina. 1990. Experimentación y Demostración Agrícolas en Fincas de Producción de la Región II. Resultados del ciclo 1989/90. Ministerio de Agricultura y Ganadería, mimeo, Managua.
- Duncan, W.G. 1958. Corn response to density. *Agron J.* 43:23-32.
- Duncan, W.G. 1984. A theory to explain the relationship between corn population and yield. *Crop Sci.* 24:1141-1145.
- Dyson, C.B. and J.A. Douglas. 1975. Comparison of systematic spacing and randomized block designs in a maize population study. *Proc. Agron. Soc. New Zealand* 5:45-48.
- Escobar, J.C., F. Guerra, N. Arraiza y A. Aguiluz. 1991. Estudios de densidades de siembra y niveles de nitrógeno y fósforo en el cultivo de maíz amarillo HE-104. pp. 464 en: Memoria Anual de la 37ava Reunión Anual del PCCMCA, Panamá.
- Fery, R.L. y J. Janick. 1971. Response of corn (*Zea mays* L.) to population pressure. *Crop Sci.* 11:220-224.
- Fischer, K.S., and A.F.E. Palmer. 1984. Tropical maize. pp. 213-248 in: P.R. Goldsworthy and N.M. Fisher (Eds.) *The Physiology of Tropical Crops*, John Wiley and Sons, New York.
- Gordón, R., J. Franco, A. González y N. de Gracia. 1991. Evaluación de cuatro densidades de plantas en dos híbridos de maíz, Panamá 1990. pp. 458 en: Memoria Anual de la 37ava Reunión Anual del PCCMCA, Panamá.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y Finnish International Development Agency (Finnida). 1991. Evaluación Anual ciclo 1990-1991. Programa de Desarrollo Tecnológico IV Región. Mimeo, Managua, Nicaragua.
- Nelder, J.A. 1962. New kinds of systematic designs for spacing experiments. *Biometrics* 18:283-307.
- Pandey, S., and C.O. Gardner. 1992. Recurrent selection for population, variety and hybrid improvement in tropical maize. *Adv. Agron.* 48:1-87.
- Ponce, A. 1992. Validación de tres densidades de población en maíz. pp. 156 en: Memoria Anual de la 38ava Reunión Anual del PCCMCA, Managua.
- Quiroz, E., R. Hernández y L. Morales. 1989. Evaluación de diferentes densidades de siembra en el cultivar criollo 'Calillo'. pp. 709 en: Memoria Anual de la 35ava Reunión del PCCMCA, San Pedro Sula.

Evaluación de Híbridos de Grano Blanco y Amarillo de Maíz (*Zea mays* L.) en Ambientes de Centro América y México

Róger Urbina¹

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 fundamental de este trabajo es conocer el comportamiento de estos genotipos y su interacción genotipo-ambiente a través de diversas localidades de la región. En 1992, en 17 localidades de Centro América y México se evaluaron 17 híbridos de grano amarillo en un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones, y 30 híbridos de grano blanco en un diseño de látice rectangular simple duplicado (5x6) con 4 repeticiones. La medida de la interacción genotipo-ambiente se obtuvo por el análisis de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (modelo AMMI). Los híbridos blancos que menos interactuaron con el ambiente (valores AMMI cercanos a 0) fueron H-53, HS-5GM, Y-1402 CW, CB-XHS-511 y HN-913 (-0.07, -0.06, 0.07, 0.09 y 0.08 puntuación AMMI) superando en rendimiento con 9, 12 y 16% al testigo HB-83. 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 (-0.07 y 0.09), sin embargo, sus rendimientos fueron inferiores al promedio global de los híbridos evaluados. Los híbridos amarillos XL-380 y HR-12 rindieron 35 y 41% más que el testigo HA-46 y la magnitud de su interacción con el ambiente relativamente baja (-0.11 y -0.12 de AMMI), por lo que parecen promisorios. Los datos confirman que los Programas Nacionales de Maíz tienen híbridos blancos y amarillos con excelente comportamiento agronómico.

La distribución del cultivo del maíz en Centro América y El Caribe, es sumamente dispersa y está expuesta a una amplia gama de ambientes. Los ambientes contrastantes se presentan tanto de un ciclo a otro, como entre localidades en un mismo año. La variabilidad ambiental acentuada por diferentes factores como clima, humedad, tipo de suelo, manejo agronómico del cultivo, etc., obliga a los fitomejoradores a utilizar metodologías de evaluación que permitan determinar la interacción genotipo ambiente; el cual es un fenómeno de gran importancia ya que permite conocer la respuesta diferencial de los

cultivares a través de los ambientes de prueba. Además de la evaluación de los rendimientos en sí, también interesa recabar información sobre la estabilidad y consistencia de los rendimientos de los cultivares.

Ensayo Uniforme del PCCMCA

Con el propósito de generar información del comportamiento productivo y conocer la interacción de los genotipos con el ambiente, cada año los programas nacionales de investigación de maíz y las compañías privadas productoras de semilla evalúan en ensayos uniforme en ambientes de Centro América, México y El Caribe, híbridos de reciente formación e híbridos destacados de amplio uso comercial en la región. La información que se obtiene en estas evaluaciones tienen carácter oficial y constituye una magnífica ayuda para tomar decisiones en la selección del germoplasma adecuado a la circunstancia de cada país; por lo tanto los resultados derivados de dicho estudio son de mucha utilidad para técnicos extensionistas, fitomejoradores, productores de semilla y agricultores en general. En 1992, le correspondió al Programa de Maíz del Centro Nacional de Investigación de Granos Básicos (CNIGB) de Nicaragua preparar los ensayos uniformes de híbridos de grano blanco y amarillo del PCCMCA, tabular la información y presentar el informe de los resultados.

Márquez (1976), menciona que la interacción genotipo-ambiente es el comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes medios ambientes. Córdova (1991), señala que los fitomejoradores frecuentemente enfrentan un problema de gran magnitud cuando seleccionan en presencia del fenómeno de interacción genotipo-ambiente (GxA). Para evitar esta interferencia se han diseñado modelos de estabilidad que contribuyen a disminuir el riesgo involucrado en la selección al realizar estimaciones empíricas imperfectas. Un modelo para analizar la interacción genotipo x ambiente es el modelo AMMI, (efectos principales aditivos e interacción multiplicativa) (Gauch y Zobel, 1989; Crossa *et al*, 1988). AMMI integra algunos modelos estadísticos comúnmente aplicados a series de ensayos de rendimiento, que incluye el análisis de varianza (ANOVA), cuyo modelo es aditivo, el análisis de

¹Coordinador del Programa Regional de Maíz (PRM) para Centro América y El Caribe, Apdo. Postal 6135, Managua, Nicaragua.

componentes principales (PCA), el cual es multiplicativo y el modelo de regresión lineal de Finlay-Wilkinson (Crossa *et al.*, 1988). El modelo AMMI ajusta primero los factores aditivos de genotipo (G) y ambiente (A) usando ANOVA y que es la interacción GxA, y lo ajusta a través de PCA. Crossa *et al.*, (1988), encontró que AMMI basado en 2 repeticiones es tan preciso en predicción como la media de tratamientos estimada con 8.61 repeticiones en un diseño de bloques al azar

En el ensayo del PCCMCA de 1988, el modelo AMMI identificó 10 genotipos con baja interacción, de los cuales solamente H-30, H-29 y HB-85 presentaron rendimientos superiores a la media, (6.65, 6.56 y 6.43 t/ha y scores AMMI de 0.063, 0.163 y -0.069, respectivamente). El 70% de los genotipos estables estuvieron abajo de la media de rendimiento (Córdova 1989). En la evaluación del PCCMCA de 1989, los híbridos que menos interactuaron con el ambiente fueron HB-33, P-8812, P-8822 y B-833, presentando rendimientos de 5.48, 5.27, 5.27 y 5.23 t/ha superando a la media y al testigo H-5 (4.23 t/ha). Sin embargo, la mayoría de los genotipos identificados como estables por AMMI estuvieron abajo de la media de rendimiento (Córdova, 1990). Quemé y Fuentes (1992) señalan que los híbridos blancos HB-85, CB-XHS-507, H-53 y MAX-397 con rendimientos de 6.28, 6.20, 6.06 y 6.01 t/ha y puntuación AMMI -0.26, 0.02, 0.03 y 0.002 respectivamente, fueron los más estables del ensayo del PCCMCA de 1991, a la vez superaron al testigo HB-83M (5.42 t/ha, score AMMI -0.136) y a la media general. El mismo autor identificó por medio del modelo AMMI los híbridos amarillos con menos interacción, siendo estos: Exp. 9122, Exp. 9120, 3078, HC-78 y H-104 los cuales superaron en rendimiento de grano al testigo HA-46 en 22, 15 y 14%, respectivamente.

El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento de grano, características agronómicas, y la adaptación de híbridos blancos y amarillos generados por los programas nacionales y compañías privadas en diversos ambientes de Centro América, El Caribe y México. Otro objetivo fue determinar la interacción de los híbridos en diferentes ambientes, con el propósito de identificar híbridos superiores y con buena estabilidad del rendimiento. Un tercer objetivo fue proporcionar a los programas nacionales, compañías privadas, fitomejoradores, técnicos extensionistas y agricultores en general la información obtenida, para que sirva de base en las decisiones de selección de los cultivares adecuados a las circunstancias de cada país y/o a nivel regional.

MATERIALES Y METODOS

Material Genético, Localidades, Diseño Experimental, Variables Registradas

En los ensayos uniformes de maíz del PCCMCA de 1992 se evaluaron 17 híbridos de grano amarillo y 30 de grano blanco generados por los programas nacionales y compañías privadas productoras de semilla. El detalle de estos se encuentra en el Cuadro 1. Se prepararon 20 ensayos de grano blanco y 20 de grano amarillo, los cuales se enviaron a Centro América, República Dominicana, México y Estados Unidos. Hasta el momento de realizar este informe, se habían recibido únicamente datos de 16 ensayos blancos y 14 amarillos, recuperando 80% y 70% del total, respectivamente (Cuadro 2).

Para la evaluación de los 30 híbridos de grano blanco se utilizó un diseño de látice rectangular simple duplicado 5x6; sin embargo los resultados reportados se analizaron como bloques al azar eliminándose una entrada que no germinó por mala calidad de semilla. Los 17 híbridos amarillos se evaluaron en una distribución de bloques completos al azar. Todos los ensayos tuvieron 4 repeticiones, sembrando 4 surcos de 5 m de largo por unidad experimental, siendo la parcela útil los 2 surcos centrales de 44 plantas teóricamente, tratando de obtener una densidad de población de aproximadamente de 53,000 pl/ha. Se registraron los días a floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca, acame de raíz y tallo, mazorcas con mala cobertura, aspecto de planta y mazorca, enfermedades foliares y de mazorca, peso de campo de la cosecha y % de humedad del grano. El rendimiento de grano se calculó al 15% de humedad. En las localidades donde influyó el número de plantas cosechadas se realizó un ajuste por análisis de covarianza.

Análisis Estadístico

En ambos experimentos el análisis de varianza por localidad de la variable rendimiento de grano se efectuó con el modelo de bloques completos al azar.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + R_j + E_{ij}$$

donde:

$$\begin{array}{ll} i = & 1, 2, \dots, t \quad t = \text{tratamiento} \\ j = & 1, 2, \dots, r \quad r = \text{repeticiones} \end{array}$$

Y_{ij} = Valor del carácter estudiado de la parcela con el i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición.

μ = Media general del carácter
 T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento
 R_j = Efectos de la j-ésima repetición
 E_{ij} = Efectos aleatorios asociados a la j-ésima observación

Cuadro 1. Híbridos de grano amarillo y blanco evaluados en el ensayo uniforme del PCCMCA 1992.

Ent	Nombre	Institución	País
AMARILLOS			
G 1	HA-46	ICTA	Guatemala
G 2	Exp.9122	ICTA	Guatemala
G 3	H-104	CENTA	El Salvador
G 4	HA-54	SRN	Honduras
G 5	HA-55	SRN	Honduras
G 6	HC-78	MAG	Costa Rica
G 7	P-8812	IDIAP	Panamá
G 8	P-8916	IDIAP	Panamá
G 9	Cub. T-7	IIHLD	Cuba
G 10	Cub. T-31	IIHLD	Cuba
G 12	RD-36691	CESDA	Rep. Dom.
G 13	RD-9106	CESDA	Rep. Dom.
G 14	DK-888	DEKALB	USA
G 15	XL-380	DEKALB	USA
G 16	CBY02	PIONEER	USA
G 17	HR-12	SEMINAL	Guatemala
BLANCOS			
G 1	HB-83 M	ICTA	Guatemala
G 2	HB-85	ICTA	Guatemala
G 3	Exp. 9101	ICTA	Guatemala
G 4	B-833	DEKALB	USA
G 5	Exp. 9144	DEKALB	USA
G 6	H-53	CENTA	El Salvador
G 7	H-57	CENTA	El Salvador
G 8	Y-1402 AW	PIONEER	USA
G 9	Y-1402 CW	PIONEER	USA
G 10	HB-30	SRN	Honduras
G 11	HB-42	SRN	Honduras
G 12	C-343	CARGILL	México
G 13	C-381 A	CARGILL	México
G 14	C-385	CARGILL	México
G 15	C-900215	CARGILL	México
G 16	C-915326	CARGILL	México
G 17	HN-911	CNIGB	Nicaragua
G 18	HN-913	CNIGB	Nicaragua
G 19	HN-915	CNIGB	Nicaragua
G 20	CB-XHS-511	CRISTIANI B.	Guatemala
G 21	HS-5GM	CRISTIANI B.	Guatemala
G 22	CB-XHS-525	CRISTIANI B.	Guatemala
G 23	HC-43	MAG	Costa Rica
G 24	Max-301	AGRIDEC	USA
G 25	Max-311	AGRIDEC	USA
G 26	Master Trop.	SEM. MASTER	México
G 27	H-311	SEM. MASTER	México
G 28	HR-17	SEMINAL	Guatemala
G 29	HR-15	SEMINAL	Guatemala
G 30	HR-5	SEMINAL	Guatemala

Cuadro 2. Localidades donde se establecieron los ensayos de híbridos de grano amarillo y blanco del PCCMCA 1992.

No.	Localidades	Código	País
AMARILLOS			
1	La Máquina (ICTA)	PALM9201	Guatemala
2	Cuyuta (ICTA)	PACU9202	Guatemala
3	San Jerónimo (ICTA)	PASJ9203	Guatemala
4	Fca. Las Vegas (CRISTIANI B)	PALV9204	Guatemala
5	Fca. Verapaz (SEMINAL)	PAVE9205	Guatemala
6	Sta. Cruz Porrillo (CENTA)	PASP9206	El Salvador
7	Las Acacias (SRN)	PALA9207	Honduras
8	Guanacaste (MAG)	PACR9208	Costa Rica
9	E.E.F. Baudrit (UCR)	PAAL9210	Costa Rica
10	Parita (IDIAP)	PAPA9211	Panamá
11	La Honda (IDIAP)	PALH9212	Panamá
12	Río Hato (IDIAP)	PARH9213	Panamá
13	San Cristobal (CNIGB)	PASC9214	Nicaragua
14	Telica (DEKALB)	PATL9219	Nicaragua
BLANCOS			
1	Sn. Jerónimo (ICTA)	PBSJ9201	Guatemala
2	Cuyuta (ICTA)	PBCU9202	Guatemala
3	La Máquina (ICTA)	PBLM9203	Guatemala
4	Fca. Las Vegas (CRISTIANI B)	PBLV9204	Guatemala
5	Fca. Verapaz (SEMINAL)	PBVE9205	Guatemala
6	Sta. Cruz Porrillo (CENTA)	PBSP9206	El Salvador
7	San Andrés (CENTA)	PBSA9207	El Salvador
8	Catacamas (SRN)	PBCH9208	Honduras
9	Omonita (SRN)	PBOH9209	Honduras
10	E.E.F. Baudrit (UCR)	PBAL9210	Costa Rica
11	Guanacaste (MAG)	PBCR9211	Costa Rica
12	Limón (MAG)	PBCR9212	Costa Rica
13	Liberia (DEMASA)	PBLG9222	Costa Rica
14	Telica (DEKALB)	PBTL9216	Nicaragua
15	Sn. Cristóbal (CNIGB)	PBSC9219	Nicaragua
16	Tlajomulco (CARGILL)	PBCM9217	México

Se calculó la diferencia significativa honesta (DSH) al 1% para desglosar la variabilidad del rendimiento de grano (separación de medias). Para medir la interacción genotipo-ambiente se efectuó el análisis de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI), utilizando el modelo descrito por Crossa *et al* (1988). Dicho modelo es el siguiente:

$$Y_{ge} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum \lambda_n Y_{gn} \delta_{en} + \rho_{ge}$$

donde:

- Y_{ge} = Es el rendimiento promedio de un genotipo g en ambiente e
- μ = Es la media general
- α_g = Son las desviaciones de las medias de los genotipos

- β_e = Desviaciones de las medias de ambientes
- N = Es el número de PCA retenidos en el modelo
- λ_n = Es el valor singular para el PCA
- Y_{gn} = Son los valores de vectores de los genotipos para cada PCA
- δ_{en} = Son los valores de los vectores para cada ambiente (PCA)
- ρ_{ge} = Es el residual

RESULTADOS Y DISCUSION

Ensayos de Híbridos de Grano Amarillo

En el análisis de varianza y AMMI (Cuadros 3 y 4), todas las fuentes de variación fueron altamente significativas. La alta significancia de la interacción Localidad x Híbridos indica que éstos presentaron un comportamiento diferencial influenciado por el ambiente. El PCA1 captó el 39% de la suma de cuadrados de la interacción con el 14.8% de los grados de libertad. Los ejes PCA1 y PCA2 en conjunto captaron el 63.9% de la suma de cuadrado 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 éste la mayor proporción de la suma de cuadrados (Crossa *et al.*, 1988). Las puntuaciones (scores) AMMI de los híbridos y las localidades asociados con sus respectivos rendimientos se muestran en la Figura 1 y el Cuadro 5.

Cuadro 3. Análisis de varianza por localidad para rendimiento de grano (ton/ha) de 14 ensayos de híbridos de granoamarillo del PCCMCA 1992.

	C.M. Trat.	Media ton/ha	C.V %
1. La Máquina (ICTA)	1.912**	2.388	20.9
2. Cuyuta (ICTA)	6.849**	4.769	14.4
3. San Jerónimo (ICTA)	13.028**	6.235	14.4
4. Fca. Las Vegas (CRISTIANI)	2.966**	2.613	23.3
5. Fca. Verapaz (SEMINAL)	4.579**	5.202	15.5
6. Sta. Cruz Porrillo (CENTA)	3.474**	4.535	15.5
7. Las Acacias (SRN)	4.314**	4.486	21.8
8. Parita (IDIAP)	1.030**	4.747	8.7
9. La Honda (IDIAP)	3.996**	3.956	12.8
10. Río Hato (IDIAP)	3.924**	6.118	9.4
11. San Cristóbal (CNIGB)	2.792**	5.262	15.7
12. Telica (DEKALB)	6.575**	4.974	12.0
13. Guanacaste (MAG)	5.596**	4.103	16.1
14. E.E.F. Baudrit M. (UCR)	2.687**	5.795	14.4
Combinado	38.759**	4.613	15.1
Localidad por Híbridos	**		

Cuadro 4. Análisis AMMI para rendimiento de grano de 17 híbridos de grano amarillo evaluados en 12 localidades. PCCMCA 1992.

Fuente	GL	SC	CM	Prob.
Localidades	11	1053.18	95.74	0.0000***
Híbridos	16	591.38	36.96	0.0000***
Loc. x Híbr.	176	283.55	1.61	0.0000***
PCA 1	26	110.92	4.27	0.0000***
PCA 2	24	70.39	2.93	0.0000***
Residual	126	102.25	0.81	0.0005***
Error	576	303.90	0.53	
Total	815	2304.60	2.83	

Cuadro 5. Rendimiento promedio y puntuaciones AMMI del primer eje de interacción para 17 híbridos de grano amarillo y ambientes 12 ambientes de evaluación, PCCMCA, 1992.

No.	Genotipo	Rend. ton/ha	Puntuación AMMI
HIBRIDOS			
1	HA-46	3.785	-0.593
2	Exp.9122	5.463	0.206
3	H-104	5.169	0.429
4	HA-54	4.858	0.226
5	HA-55	4.769	-0.066
6	HC-78	4.638	0.218
7	P-8812	5.269	0.777
8	P-8916	5.065	0.516
9	Cub. T-7	2.850	-0.955
10	Cub. T-9	3.994	0.096
11	Cub. T-31	4.033	0.141
12	RD-36691	2.654	-1.131
13	RD-9106	4.596	-0.219
14	DK-888	5.713	1.082
15	XL-380	5.325	-0.119
16	CBY02	5.121	-0.498
17	HR-12	5.110	-0.108
AMBIENTES			
1	La Máquina	2.382	-0.706
2	Cuyuta	4.766	0.463
3	San Jerónimo	6.237	1.856
4	Fca. Las Vegas	2.610	-0.598
5	Fca. Verapaz	5.204	0.002
6	Sta. C. Porrillo	4.531	0.193
7	Las Acacias	4.481	0.123
8	Parita	4.750	-0.596
9	La Honda	3.962	-0.002
10	Río Hato	6.185	-0.562
11	San Cristóbal	5.253	-0.164
12	Telica	4.981	-0.009

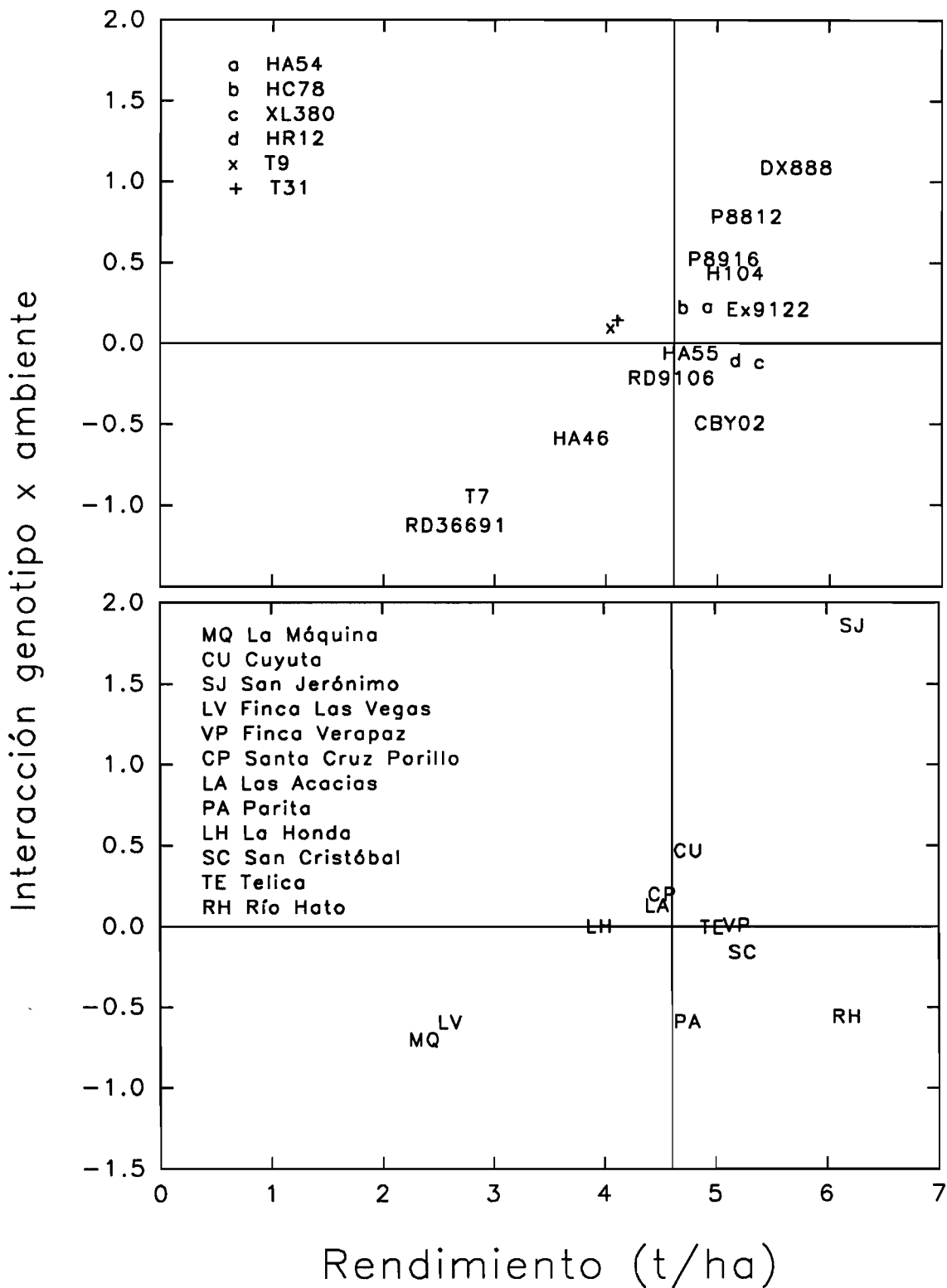


Figura 1. Diagrama de medias de rendimiento y puntuaciones del primer eje del componente principal de 17 híbridos de grano amarillo y 12 ambientes del ensayo uniforme del PCCMCA 1992.

Tanto los híbridos como las localidades presentaron diferentes patrones de interacción y rendimiento. De acuerdo a la puntuación AMMI, los híbridos T-31, T-9, HA-55, HR-12, XL-380 y Exp. 9122 fueron los que menos interactuaron con el ambiente, y únicamente los tres últimos tuvieron rendimientos arriba de la media. Los híbridos más estables superaron al testigo HA-46 (3.79 t/ha) en 6, 5, 26, 35, 41 y 44%, respectivamente. En la Figura 1, los híbridos estables HA-55, HR-12, XL-380 y Exp. 9122, con rendimientos superiores a la media aparecen agrupados horizontalmente cerca del valor cero.

En el Cuadro 6 se presentan los mejores híbridos y sus características agronómicas y el Cuadro 7 presenta el promedio de todas las características agronómicas a través de todos los ambientes para todas las entradas.

Cuadro 6. Rendimiento y características agronómicas de los mejores híbridos de grano amarillo evaluados en 12 localidades. PCCMCA 1992.

Híbridos	Rend. ton/ha	% sobre HA-46	Altura Planta cm.
DK-888	5.712	151	229
Exp. 9122	5.462	144	239
XL-380	5.325	141	226
P-8812	5.269	139	237
H-104	5.169	136	225
CBY02	5.121	135	228
HR-12	5.110	135	221
P-8916	5.065	134	228
HA-54	4.858	128	226
HA-46	3.785	100	229
Media	4.612		227
DSH 1%	0.556		

Híbridos	% Mazorcas		Puntuación AMMI
	Desc.	Podr.	
DK-888	3	10	1.082
Exp. 9122	6	8	0.206
XL-380	5	8	-0.119
P-8812	7	16	0.777
H-104	11	11	0.430
CBY02	8	9	-0.498
HR-12	9	11	-0.108
P-8916	13	14	0.516
HA-54	7	10	0.226
HA-46	4	6	-0.593
Media	8	11	

Estos superaron ampliamente al testigo HA-46 en rendimiento de grano en un rango comprendido entre 26 y 51%. Observando la densidad promedio de plantas cosechadas 4.25 pl/m² (Cuadro 7) del análisis combinado y comparándola con la población teórica inicial de 5.33 pl/m²; se nota que hubo una disminución de la población del 20%, el cual se considera alta. En estas plantas pérdidas se dejó de producir en promedio 1.16 t/ha de grano. El fenómeno antes señalado podría explicar en parte la expresión parcial del potencial productivo de los híbridos evaluados.

Ensayos de Híbridos de Grano Blanco

El análisis de varianza (Cuadro 8) y el modelo AMMI (Cuadro 9) mostraron alta significancia para todos los componentes involucrados en el análisis. La interacción significativa Localidad x Híbridos indica que el comportamiento de los híbridos no fue igual en todas las localidades; es decir estos presentaron rendimientos diferenciales obviamente influenciados por el ambiente. El primer eje de interacción PCA1 captó el 28.3% de la suma de cuadrados de la interacción con el 11.6% de los grados de libertad. Estos resultados coinciden exactamente con los reportados por Córdova (1991) en un estudio similar.

Las puntuaciones AMMI de los híbridos y las localidades con sus respectivos rendimientos se muestran en la Figura 2 y Cuadro 10. Sólo 12 híbridos presentaron puntajes cercanos a cero (0.166 a -0.197) por lo que se consideran estables por su baja interacción con el ambiente. Los híbridos C381A, CB-XHS-511, Y-1402 CW, HN-913, HS-5GM, H-53, Y-1402 AW, C-343 y CB-XHS-525 por estar ubicados cerca del eje cero presentan similar estabilidad, pero difieren en los patrones de rendimiento (Figura 2). En el grupo de híbridos estables sólo HB-30, HN-915 y Max 311 rindieron abajo de la media. Sin embargo, los dos últimos rindieron más o igual que el testigo HB-83M (5.14 y 5.05 t/ha), pero con la diferencia que éstos interactuaron menos con el ambiente.

Los mejores híbridos de grano blanco se presentan en el Cuadro 11, y el Cuadro 12 presenta las medias para todas las características medidas para los híbridos blancos a través de los 17 ambientes. Se observa que los híbridos Y-1402 AW, Exp.9101, H-53 y HN-911 superaron en rendimiento de grano al testigo HB-83M en 15, 16, 17, y 18% respectivamente.

Cuadro 7. Promedio de variables agronomicas de 17 híbridos amarillos evaluados en 12 localidades de Centro America y Mexico. PCCMCA 1992.

Nombre	DaFM dias	DaFF dias	ARPI cm	ARMz cm	AcRaiz %	AcTallo %	AspPI % (1-5)	MzDes %	MzPod %	AspMz % (1-5)	Hum %	Curv % (1-5)	Helm % (1-5)	Roya % (1-5)	Virus %	Pl/m2	Mz/m2	Mz/Pl	PesMz g	Rend t/ha
HA-46	57	56	218	111	39.4	7.6	3.6	4.3	6.1	3.0	19.0	3.5	2.7	2.3	10.9	3.27	3.78	1.19	102	3.79
Exp. 9122	57	56	234	123	36.8	7.7	3.3	5.7	7.7	2.8	20.3	3.5	2.7	2.6	8.5	4.85	4.77	0.99	116	5.47
H-104	57	55	225	117	33.8	6.0	5.7	10.7	11.0	2.7	18.8	3.5	2.9	2.3	9.3	4.65	5.06	1.10	104	5.17
HA-54	57	55	226	117	36.8	8.1	3.6	7.3	10.1	2.9	19.6	4.1	3.1	2.7	9.5	4.75	4.76	1.00	103	4.87
HA-55	58	56	229	120	25.8	6.3	4.2	13.4	12.3	2.9	19.4	3.3	3.1	2.8	14.5	4.27	4.58	1.08	105	4.77
HC-78	59	57	230	117	36.3	8.4	3.7	4.4	9.2	2.9	20.4	3.8	2.8	2.7	10.9	4.34	4.51	1.05	104	4.63
P-9812	58	57	237	125	38.1	7.9	4.2	6.9	15.5	2.9	21.8	4.3	3.1	3.0	10.8	4.87	4.54	0.93	117	5.27
P-8916	57	56	228	122	39.7	8.0	4.2	13.0	13.5	2.8	19.2	3.3	3.1	2.6	12.5	4.86	4.83	1.00	106	5.07
Cub T-7	62	60	229	128	44.9	11.3	2.8	7.8	13.6	3.2	20.9	4.3	2.9	3.0	18.3	3.05	2.43	0.82	120	2.85
Cub T-9	54	53	214	105	35.4	7.4	4.5	10.1	11.0	2.9	19.4	3.4	2.9	2.7	9.8	3.67	3.69	1.01	113	3.99
Cub T-31	58	57	229	126	42.8	13.2	3.0	4.9	9.5	3.1	20.3	3.9	3.0	2.5	9.4	4.15	3.92	0.95	103	4.03
RD-36691	62	60	224	125	45.3	11.8	3.2	6.7	15.3	3.5	19.9	4.0	3.0	2.7	14.9	2.59	2.47	0.96	109	2.57
RD-9106	59	58	235	118	42.9	7.5	3.4	9.8	15.5	3.0	21.7	4.3	2.8	2.8	14.5	4.12	3.81	0.93	122	4.58
DK-888	58	57	230	128	25.6	7.3	2.7	3.1	9.9	2.5	20.9	3.1	2.4	2.3	9.5	4.65	5.99	1.29	102	5.81
XL-380	57	56	226	121	25.5	9.4	3.3	4.6	7.8	2.7	20.7	3.4	2.8	2.3	11.8	4.91	5.46	1.12	100	5.32
CBY02	55	54	228	113	20.4	6.0	3.9	7.5	8.9	2.5	20.6	3.5	3.0	2.6	12.1	4.43	4.32	0.98	122	5.12
HR-12	54	54	221	113	24.3	8.5	7.6	9.0	10.5	2.6	21.0	4.9	3.3	2.6	10.9	4.88	4.80	0.99	108	5.12
Media	58	56	227	119	34.9	8.4	3.9	7.6	11.0	2.9	20.2	3.8	2.9	2.6	11.6	4.25	4.34	1.02	109	4.61
DSH (1%)																				0.56

Cuadro 8. Análisis de varianza por localidad para rendimiento de grano (ton/ha) de 13 ensayos de híbridos de grano blanco del PCCMCA 1992.

Localidad	C.M. Trat.	Media ton/ha	C.V. %
1. San Jerónimo (ICTA)	9.24**	7.114	12.8
2. Cuyuta (ICTA)	5.87**	5.726	11.0
3. La Máquina (ICTA)	0.47NS	2.676	21.2
4. Fca. Las Vegas (CRISTIANI)	1.13**	3.684	13.1
5. Fca. Verapaz (SEMINAL)	5.38**	5.506	10.9
6. Sta. Cruz Porrillo (CENTA)	2.28**	5.192	12.9
7. San Andrés (CENTA)	3.28**	4.234	11.4
8. Catacamas (SRN)	1.39**	6.048	13.0
9. Omonita (SRN)	3.25**	6.953	10.9
10. E.E.F. Baudrit (UCR)	3.25**	6.275	13.6
11. Guanacaste (MAG)	2.33**	4.644	15.7
12. Limón (MAG)	2.27**	4.358	19.6
13. Liberia (DEMASA)	2.67**	6.170	14.0
14. Telica (DEKALB)	1.35**	5.008	8.3
15. San Cristobal (CNIGB)	3.98**	5.359	19.2
16. Tlajumulco (CARGIL)	3.06**	4.703	12.1
Combinado	11.56**	5.287	13.9
Localidad por Híbridos	**		

C.M. Trat = Cuadrado medio; C.V. (%) coeficiente de variación, ** P<0.01; ns no significativo.

Cuadro 9. Análisis AMMI para rendimiento de grano de 29 híbridos de grano blanco evaluados en 13 localidades PCCMCA 1992.

Fuente	GL	SC	CM	Prob.
Localidades	12	2412.83	201.07	0.000***
Híbridos	28	323.14	11.54	0.000***
Loc. x Híbridos	336	414.60	1.23	0.000***
PCA 1	39	117.53	3.01	0.000***
PCA 2	37	67.67	1.83	0.000***
Residual	260	229.40	0.88	0.000***
Error	1092	588.76	0.54	
Total	1507	3827.34	2.54	

GL: grados de libertad; SC: suma de cuadros; CM: cuadrado medio.

En el ensayo de híbridos blancos, el número promedio de plantas cosechadas (4.58 pl/m²) fue 14% menos que la población teórica inicial (5.53 pl/m²) (Cuadro 12). En las plantas perdidas se dejó de producir 0.87 ton de grano, lo cual es una cantidad considerable. La reducción de la población del 14% exceden las pérdidas normales ocurridas al cultivo, las cuales oscilan en un rango comprendido de 8 a 10%.

Las diferencias de rendimiento de los mejores híbridos blancos en relación al testigo HB-83M fue menor que la presentada por los mejores híbridos

amarillos respecto al testigo HA-46; esto indica que HB-83M sigue siendo un buen híbrido consistente en su comportamiento a través del tiempo. El mejor híbrido del presente estudio fue H-53, su media de rendimiento 5.91 t/ha y puntaje AMMI casi igual a cero (-0.070), con lo clasifica como un genotipo deseable.

Cuadro 10. Puntuaciones para híbridos de grano blanco y ambientes del primer eje de interacción (AMMI). PCCMCA 1992.

Genotipo	Rend. ton/ha	Puntuación AMMI
HIIBRIDOS		
1 HB-83M	5.096	-0.227
2 HA-85	5.481	-0.310
3 Exp. 9101	5.975	0.208
4 B-833	5.459	0.533
5 Exp. 9144	5.621	1.001
6 H-53	5.906	-0.070
7 H-57	5.437	0.260
8 Y-1402 AW	6.010	-0.121
9 Y-1402 CW	5.731	0.076
10 HB-30	4.979	0.011
11 HB-42	5.331	0.425
12 C-343	5.523	-0.146
13 C-381A	5.692	0.166
14 C-385	4.702	-0.341
15 C-900215	4.500	0.602
16 C-915326	4.852	-0.702
17 HN-911	5.885	0.409
18 HN-913	5.385	0.073
19 HN-915	5.143	-0.044
20 CB-XHS-511	5.548	0.936
21 HS-5GM	5.731	-0.069
22 CB-XHS-525	5.404	-0.197
23 HC-43	4.919	0.492
24 Max-301	4.063	-0.525
25 Max-311	5.052	-0.044
26 Mast.Trop.	5.063	0.446
27 HR-17M	5.312	-0.172
28 HR-15	4.788	-0.861
29 HR-5	4.758	-0.965
AMBIENTES		
1 San Jerónimo	7.340	1.454
2 Cuyuta	5.903	-0.442
3 La Máquina	2.675	-0.588
4 Finca Las Vegas	3.684	-1.024
5 Finca Verapaz	5.674	-0.777
6 Sta. C. Porrillo	5.234	-0.352
7 San Andrés	4.538	0.157
8 Catacamas	6.048	-0.013
9 Omonita	7.013	0.561
10 Alajuela	6.277	0.773
11 Guanacaste	4.648	0.183
12 Limón	4.389	-0.052
13 San Cristóbal	5.500	0.119

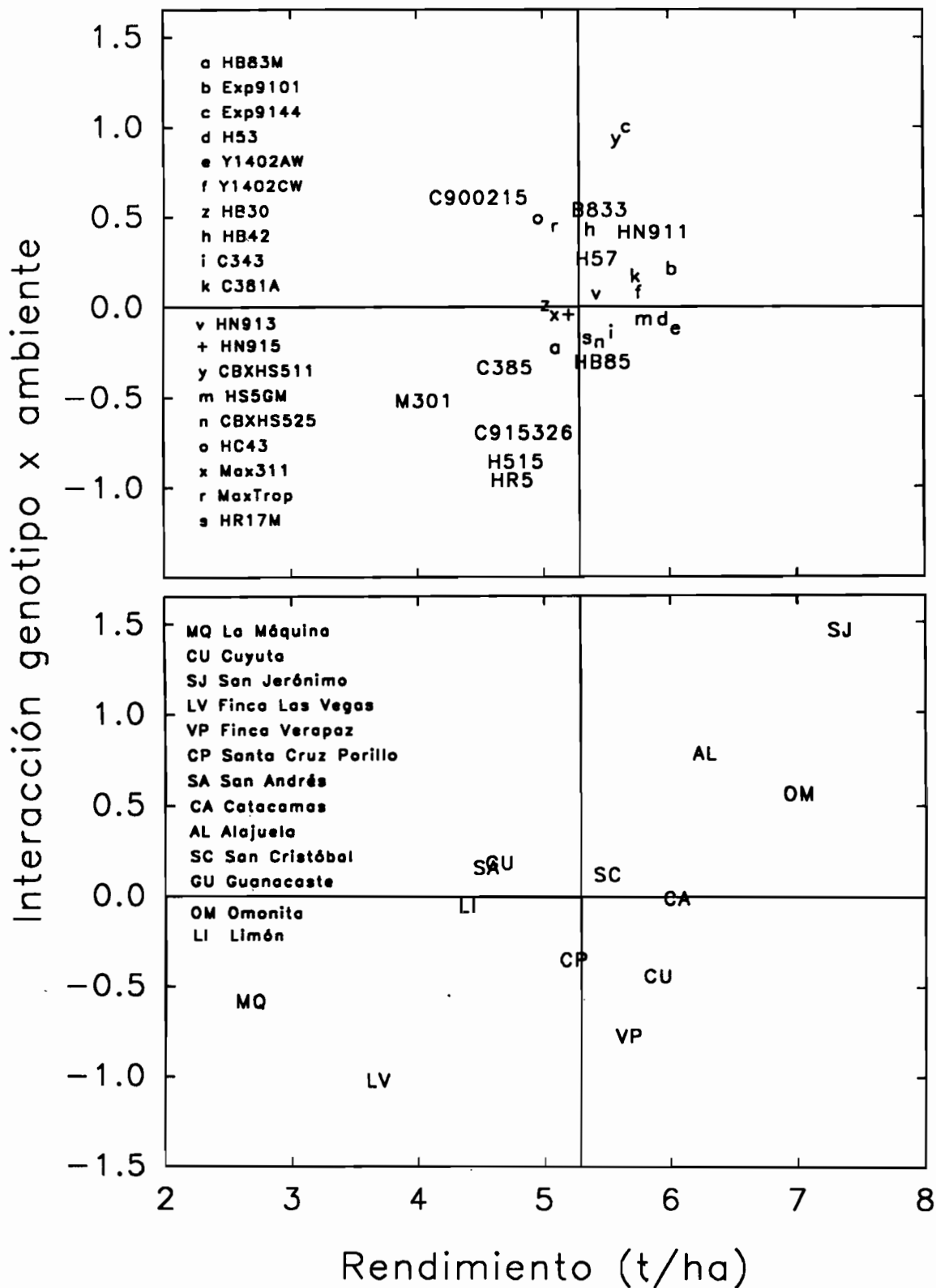


Figura 2. Diagrama de medias de rendimiento y puntuaciones del primer eje del componente principal de 29 híbridos de grano blanco y 13 ambientes del ensayo uniforme del PCCMCA 1992.

Cuadro 11. Rendimiento y características agronómicas de los mejores híbridos de grano blanco, PCCMCA 1992.

Híbridos	Rend. ton/ha	% sobre HB-83M	Altura Planta
Y-1402 AW	6.010	118	242
Exp. 9101	5.975	117	233
H-53	5.906	116	227
HN-911	5.885	115	236
Y-1402 CW	5.731	112	244
HS-5GM	5.731	112	221
C-381 A	5.692	112	223
Exp. 9144	5.621	110	252
CB-XHS-511	5.548	109	231
C-343	5.523	108	206
HB-85	5.481	107	229
B-833	5.460	107	248
H-57	5.436	107	234
HB-83M	5.096	100	226
Media	5.288		225
DSH 1%	0.575		

Híbridos	% mazorcas		Puntuación AMMI
	Desc.	Podr.	
Y-1402 AW	6	9	-0.121
Exp. 9101	7	10	0.208
H-53	9	7	-0.070
HN-911	7	12	0.409
Y-1402 CW	9	12	0.076
HS-5GM	6	8	-0.069
C-381 A	6	9	0.166
Exp. 9144	7	16	1.001
CB-XHS-511	6	10	0.093
C-343	5	9	-0.146
HB-85	8	8	-0.310
B-833	6	11	0.533
H-57	8	11	0.260
HB-83M	6	8	-0.227
Media	7	11	
DSH 1%			

Es importante recordar que la estabilidad de los genotipos implica en cierta medida adaptación amplia y ésta va en contra de rendimiento. Los resultados de este estudio coinciden con los reportados por Quemé y Fuentes (1992), quienes observaron igual tendencia en la estabilidad de los cultivares. En los últimos años se ha encontrado mayor frecuencia de híbridos con alto potencial de rendimiento y muy poca interacción con el ambiente. Estos dos reportes difieren con los de Córdova (1989, 1990) quien señala que en estudios similares, la mayoría de los genotipos identificados como estables por el modelo AMMI estuvieron abajo de la media del rendimiento. La evidencia anterior indica el progreso que han logrado en los últimos años los programas nacionales y compañías privadas al generar

híbridos blancos con alto potencial de rendimiento y poca interacción con el ambiente. Igual que en el ensayo de híbridos amarillos, la localidad de San Jerónimo en Guatemala fue el ambiente más productivo y el que más interactuó con los genotipos (AMMI = 1.454), por lo que se considera una buena localidad para evaluación de genotipos.

CONCLUSIONES

1. Se obtuvo buena recuperación de la información de los ensayos uniformes del PCCMCA de 1992 (80% los ensayos de grano blanco y 70% los amarillos).

2. Los híbridos de grano blanco presentaron mejor comportamiento productivo que los híbridos amarillos.

3. La cantidad de híbridos blancos con puntuaciones AMMI cercanas a cero (genotipos de baja interacción con el ambiente), fue mayor que la de los híbridos amarillos (12 versus 5).

4. En términos porcentuales los mejores híbridos blancos superaron en menor magnitud al testigo HB-83M, en cambio los mejores amarillos superaron ampliamente al testigo HA-46 (hasta 18% los blancos y 51% los amarillos).

5. Los híbridos que ocuparon los primeros lugares en ambos experimentos fueron generados por el Proyecto de Híbridos del PRM, destacándose entre los blancos el Exp. 9101, H-53 y HN-911 y los amarillos Exp. 9122, P-8812 y H-104. Esta evidencia indica el avance en el mejoramiento logrado por los Programas Nacionales del PRM.

6. Las pérdidas considerables de plantas afectaron parcialmente el potencial productivo de los híbridos (reducción de la población inicial teórica del 20% en los amarillos y 14% en los blancos) y muestra la importancia de examinar los componentes de rendimiento en maíz.

RECOMENDACIONES

1. Para que los nuevos híbridos puedan expresar al máximo su potencial productivo en los experimentos y/o en los lotes de producción comercial, se recomienda utilizar semilla de buena calidad y además proteger la plantación en los primeros estadios de desarrollo del cultivo.

Cuadro 12. Promedio de variables agronómicas de 29 híbridos blancos evaluados en 14 localidades de Centro América, y México. PCCMCA 1992.

Nombre	DaFM días	DaFF días	AltPl cm	AltMz cm	AcRaiz %	AcTallo %	AspPl (1-5)	MzDes %	MzPod %	AspMz (1-5)	Helm (1-5)	Roya (1-5)	Pl/m2	Mz/m2	Mz/pl	PesMz g	Rehd t/ha
HB-83M	56	56	226	117	9.3	5.5	2.4	6.8	7.9	3.0	2.8	2.2	4.55	4.37	0.96	119	5.22
HB-85	54	55	228	119	13.3	5.1	2.4	8.3	7.2	3.0	2.8	2.4	4.38	4.29	0.98	131	5.64
Exp. 9101	55	56	234	127	9.6	6.6	2.5	7.4	9.5	3.0	2.8	2.1	4.90	4.71	0.96	130	6.15
B-833	58	58	250	138	23.1	6.3	2.8	6.7	9.9	3.2	2.8	2.0	4.91	4.75	0.97	116	5.59
Exp. 9144	55	56	260	137	20.3	7.2	2.7	7.8	16.0	3.5	3.0	2.2	4.94	4.72	0.96	120	5.75
H-53	54	55	229	130	16.2	6.1	2.7	9.8	7.1	2.7	2.4	2.3	4.95	4.65	0.94	129	6.03
H-57	55	56	236	128	18.8	7.1	2.6	8.8	11.0	3.0	2.8	2.3	4.89	4.67	0.96	117	5.50
Y-1402 AW	57	57	244	166	15.9	9.5	2.6	6.6	8.9	3.0	2.8	2.6	4.86	4.55	0.94	134	6.03
Y-1402 CW	56	57	245	132	9.6	5.6	2.4	9.8	11.3	3.1	2.6	2.3	4.88	4.75	0.97	125	5.95
HB-30	56	57	235	127	18.9	5.0	2.5	9.2	11.3	3.1	3.0	2.1	4.16	4.03	0.97	131	5.21
HB-42	56	57	238	130	17.5	9.0	2.8	7.4	13.1	3.1	2.9	2.5	4.48	4.37	0.98	124	5.41
C-343	55	55	204	105	10.1	4.6	2.5	5.8	8.7	3.0	2.8	2.2	4.76	4.67	0.98	122	5.68
C-381 A	55	55	224	116	9.4	3.9	2.3	6.1	8.4	2.9	2.9	2.1	4.39	4.55	1.04	127	5.80
C-385	55	56	204	107	13.7	4.2	2.6	10.8	11.4	3.1	2.9	2.3	3.73	3.84	1.03	124	4.78
C-900215	52	53	225	116	17.6	10.9	3.2	6.3	24.3	3.7	3.2	2.9	4.80	4.62	0.96	102	4.73
C-915326	56	56	209	101	14.5	3.2	2.5	11.8	18.8	3.4	2.9	2.1	4.52	4.02	0.89	122	4.91
HN-911	56	57	236	128	11.8	5.3	2.7	7.5	12.2	3.0	2.8	2.2	4.75	4.61	0.97	128	5.98
HN-913	55	56	238	130	18.9	6.7	2.5	5.9	10.2	3.1	2.7	2.7	4.90	4.51	0.92	121	5.49
HN-915	56	57	225	121	14.6	5.4	2.7	7.9	14.3	3.3	2.8	2.3	4.71	4.58	0.97	112	5.16
CB-XHS-511	54	56	232	122	16.9	6.1	2.5	6.6	9.0	3.1	2.7	2.4	4.72	4.29	0.91	129	5.61
HS-SGM	54	55	221	116	12.1	5.2	2.5	5.9	7.6	2.8	2.7	2.0	4.84	4.54	0.94	128	5.85
CB-XHS-525	55	56	223	117	16.7	6.1	2.6	9.2	11.0	3.0	3.0	2.6	4.73	4.45	0.94	124	5.59
HC-43	54	56	224	119	12.8	8.2	2.6	8.3	13.1	3.2	2.7	2.4	4.47	4.18	0.94	119	5.05
Mar-301	54	55	205	98	13.5	5.4	2.6	6.3	9.6	3.0	3.0	2.4	3.39	3.25	0.96	129	4.15
Mar-311	55	56	225	116	14.2	5.8	2.7	9.6	9.4	3.1	2.9	2.2	4.72	4.57	0.97	114	5.20
Mast.Trop.	57	58	227	129	12.7	6.6	2.7	9.7	14.9	3.4	2.8	2.3	4.64	4.57	0.98	114	5.22
H-311	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
HR-17M	54	55	213	111	14.2	4.7	2.6	6.0	7.9	2.9	2.6	2.4	4.93	4.61	0.94	118	5.47
HR-15	53	54	191	95	12.0	3.5	2.6	5.0	9.4	3.1	3.0	2.6	4.76	4.37	0.92	113	4.98
HR-5	54	54	207	102	13.2	4.3	2.4	5.4	5.6	3.0	2.8	2.2	4.27	4.06	0.95	121	4.93
Media	55	56	231	125	14.7	6.2	2.6	8.1	11.6	3.1	2.8	2.3	4.64	4.48	0.97	124	5.55
DSH (1%)																	0.57

2. Las instituciones de transferencia de tecnología deberán promover en forma agresiva los híbridos superiores, para que en corto tiempo estén en manos de los agricultores.

3. Fortalecer los programas de producción de semilla con el propósito de abastecer las demandas de éstas en cantidad y calidad.

RECONOCIMIENTO

El presente informe es producto de un trabajo cooperativo en el cual han participado entidades e instituciones de Centro América, El Caribe y México, quienes igual que en otros años han participado con gran profesionalismo.

Guatemala: Carlos Pérez, Eduardo Landaverri, William Quemé, Mario Roberto Fuentes, José Luis Quemé, Salvador Castellanos (ICTA); Antonio Cristiani, Héctor Deras, Jesús Merino (CRISTIANI BURKARD); René Velázquez (SEMINAL). *El Salvador:* Fidencio Guerra, Adán Aguiluz (CENTA). *Honduras:* Luis Brizuela, Pedro Campos, Ronny Reyes, Oscar Cruz, Humberto Mejía (SRN). *Nicaragua:* Róger Urbina, Marvin Obando, Marcos Mendoza (CNIGB); Danilo Salamanca (DEKALB). *Costa Rica:* Carlos Salas, Edgard Morales (UCR) Leopoldo Pixley, Carlos Calderón (MAG) Carlos Rodríguez, Alberto Rodríguez (DEMASA). *Panamá:* Alfonso Alvarado, Ismael Camargo, Daniel Pérez, Francisco Gustavino, Román Gordón (IDIAP). *República Dominicana:* Ramón Celado, Félix Navarro, Rodolfo Pierre (CESDA). *México:* Alfonso Monteiro (CARGILL). *CIMMYT:* Jorge Bolaños (Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe).

Los coordinadores de los Programas Nacionales de Maíz (CRP) también agradecen a las compañías de semillas Cristiani Burkard, Cargill, Seminal, Pioneer, Agridec, Deklab, y Semillas Master su apoyo económico brindado.

REFERENCIAS

- 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.
- 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.
- . 1990. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays L.*) a ambientes contrastantes de Centro América, Panamá y México. Trabajo presentado en la XXXVI Reunión Anual del PCCMCA celebrada en San Salvador, El Salvador.
- . 1991. Respuestas diferenciales para rendimiento de híbridos de maíz evaluados en ambientes contrastantes de Latinoamérica, PCCMCA 1990. Trabajo presentado en la XXXVII Reunión Anual del PCCMCA, República de Panamá.
- 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 1991 PRM-ICTA, Guatemala, C.A. 61p.
- Márquez, S.F. 1976. El problema de la interacción genético-ambiental en genotecnia vegetal. Ed. Patena, A.C. Universidad Autónoma, Chapingo, México. 113p.

Evaluación de Cultivares de Maíz de Grano Amarillo en 13 Localidades de Panamá, 1992-1993

A. Alvarado¹, I. Camargo², D. Pérez², A. González², N. de Gracia², J. Ruiz², M. Moreno², E. Quiróz², C. Herrera² y R. Gordón³

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el comportamiento de 20 cultivares experimentales y comerciales de maíz de grano amarillo se instalaron ensayos uniformes de rendimiento en 13 en ambientes contrastantes de Panamá, conducidos por técnicos del Programa Nacional. El análisis combinado para rendimiento indicó una interacción altamente significativa entre localidades y genotipo x ambiente. En este sentido las localidades que resultaron más favorables fueron Río Hato, El Macano, Tres Quebradas y Slogui, con rendimientos de 5.8, 5.7, 5.5, y 5.4 t/ha, respectivamente. En la localidad de Llanito Verde por las condiciones adversas que presentó, el rendimiento promedio fue muy bajo (2.7 t/ha). Por otro lado, se destacaron por su buen rendimiento y características agronómicas los híbridos experimentales E-2416, ICTA 9122, E-216 B y el comercial P-8916, con promedios de 5.0, 4.9, 4.8 y 4.8 t/ha, respectivamente. El testigo X-304 C rindió 4.1 t/ha. De acuerdo al análisis de estabilidad los genotipos más estables fueron ICTA-9122, E-616 B y X-3086, los cuales presentaron medias de rendimiento altas con $B_1=1$ y $Sb_1=0$.

Tradicionalmente el programa de mejoramiento genético de maíz del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), efectúa anualmente un ensayo uniforme de rendimiento en diferentes zonas maiceras; donde se evalúan 20 cultivares comerciales y experimentales de maíz de grano amarillo y blanco, desarrollados por el programa nacional y/o empresas privadas que comercializan semillas en Panamá. Los resultados obtenidos en esta prueba constituyen la principal fuente oficial para el sector agropecuario en la toma de decisiones referente a la recomendación de un determinado cultivar para su siembra a nivel comercial; basados en el comportamiento de los mismos en múltiples localidades con ambientes contrastantes y a través de años de pruebas.

Los objetivos de esta prueba Regional de maíz son: a) Determinar la adaptación de cultivares de grano amarillo generados por el programa nacional y compañías privadas bajo diversos ambientes de

Panamá; b) Determinar la interacción de los genotipos en los diferentes ambientes, con el propósito de identificar superiores y con buena estabilidad de rendimiento; c) Brindarle a los extensionistas y agricultores la oportunidad de apreciar las bondades de los nuevos materiales genéticos.

Vasal *et al.* (1991) argumenta que en el desarrollo de híbridos convencionales es importante identificar germoplasma con tolerancia a endocria y alta aptitud combinatoria; considerando los patrones con un alto nivel de respuesta heterótica para un desarrollo eficiente en el menor tiempo posible. En otro orden de cosas, si el comportamiento relativo de los cultivares fuera poco influenciado por el medio ambiente, entonces, las pruebas conducidas en una sola localidad y por solamente un año, serían suficientes para proveer información adecuada en la cual basar su recomendación o su eliminación; por eso el conocimiento de la magnitud relativa de la interacción cultivar x localidad o cultivar x año, es importante conocerla (Sprague, 1955). De allí que Córdova (1990) indique que la interacción genotipo-ambiente es de suma importancia en la evaluación de cultivares desarrollados para diferentes ambientes de producción, las diferencias entre ambientes y años puede cambiar la magnitud de la respuesta relativa de los cultivares a ambientes contrastantes.

Varios autores han estudiado la interacción genético ambiental (Marquez, 1985); sin embargo, desde el punto de vista de variables observables, sin explicarlas en términos de variables causales, o sea, de los efectos genéticos y ambientales que la determinan. Durante muchos años los mejoradores han deseado producir materiales que interaccionen lo menos posible con el ambiente (materiales estables), con la finalidad de obtener una buena producción por unidad de superficie. No obstante, la estabilidad de rendimiento de un genotipo particular depende de su respuesta fisiológica a diversos factores adversos en etapas críticas del desarrollo de la planta. Marquez (1985) sugiere que los parámetros de estabilidad de hecho son parámetros de la interacción genético ambiental.

¹ Sub-Director, ² Investigadores de Maíz, ³ Coordinador Nacional de Maíz, IDIAP, Panamá.

MATERIALES Y METODOS

Se evaluaron 20 cultivares de maíz, que incluyen variedades de polinización libre, híbridos simples, triples y dobles generados por el Programa Nacional y empresas privadas (Cuadro 1). La evaluación de efectuó en 13 localidades de Panamá distribuidos de la siguiente manera; 8 localidades en las provincias Centrales, principal zona maicera del país, 3 en el Occidente Chiricano y las otras 2 localidades fueron el Sur de Soná (Los Polancos) y el área Oeste de la provincia de Panamá (Llanito Verde).

Cuadro 1. Cultivares de maíz de grano amarillo evaluados en 13 ambientes de Panamá, 1992-1993.

Cultivares	Origen
Guararé 8128	IDIAP
Alanje 1	IDIAP
H-203	TACSA
X-3078	PIONEER
X-3086	PIONEER
X-304 C	PIONEER
X-3098	PIONEER
E-632	IDIAP
E-232	IDIAP
OC-B0-60	PIONEER
P-8812	IDIAP
P-8916 B	IDIAP
P-8814	IDIAP
P-9006	IDIAP
P-8916	IDIAP
XL-604	DEKALB
ICTA 9122	ICTA
E-216 B	IDIAP
E-616 B	IDIAP
E-2416	IDIAP
E-6416	IDIAP

Se utilizó un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones, donde la unidad experimental constó de 2 surcos de 5 m de largo, separados a 0.75 m y a una distancia entre postura de 0.5 m. La siembra se hizo manual y las malezas fueron controladas mediante la aplicación de la mezcla Gesaprim/Prowl a razón de 3 l/ha de producto comercial de ambos herbicidas. La fertilización inicial se hizo con fórmula completa de acuerdo a las recomendaciones para cada localidad; a los 30 días se hizo una aplicación suplementaria de nitrógeno y las plagas fueron controladas oportunamente.

Las variables estudiadas fueron: días a flor, altura de planta y mazorca, acame, pudrición de mazorca, número de plantas y mazorcas cosechadas, aspecto de planta y mazorca, cobertura de mazorca, peso de campo, porcentaje de humedad y plantas con síntomas de achaparramiento. A todas las variables estudiadas se le efectuaron análisis de varianza por localidad, además del combinado. Para la comparación de medias de rendimiento se estimó la Diferencia Mínima Significativa (DMS). La identificación de los genotipos más estables se realizó mediante la metodología de Eberhart y Russell (1966).

RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 2 presenta algunos estadísticos estimados en el análisis de varianza para la variable rendimiento y el promedio por localidad de los 20 cultivares de maíz evaluados. El coeficiente de variación (CV's) fueron bajos indicativo de un manejo adecuado. En Parita, los cultivares mostraron un buen comportamiento y estadísticamente fueron similares.

Cuadro 2. Estadísticos estimados en el análisis de varianza para rendimiento y el promedio por localidad de 20 cultivares de maíz evaluados a través de 13 ambientes de Panamá. 1992-1993. ** representan siugnificancia a P<0.01.

Localidades	CV (%)	DMS	F	Rend kg/ha
Río Hato	10.3	882	**	5834
El Macano	8.4	617	**	5683
Tres Quebradas	13.7	1478	*	5509
Sioguí	8.8	655	**	5425
Los Polancos	12.3	992	**	5209
Parita	9.6	1096	n.s.	4908
San José	12.9	923	**	4712
La Honda	9.5	554	**	4036
La Cocobola	11.2	640	**	3604
Quira	18.5	957	**	3464
El Pedernal	25.0	1373	**	3198
París	15.5	755	**	3996
Llanito Verde	18.1	739	**	2672
Combinado	12.8	157	**	4418
Rep x Loc			**	
Tratamientos			**	
Loc x Trat			**	

Entretanto, en las demás localidades observamos diferencias significativas ($P < 0.05, 0.01$). Las localidades que presentaron las mejores condiciones para el desarrollo del cultivo fueron Río Hato, El Macano, Tres Quebradas, Sioguí y Los Polancos, en consecuencia, observamos en éstas, que los mejores promedios de rendimientos fueron 5.83, 5.68, 5.50, 5.42 t/ha, respectivamente. En Llanito Verde, París y El Pedernal las condiciones no fueron las más favorables para el desarrollo del cultivo y como consecuencia los rendimientos se vieron afectados con promedios de 2.67, 2.99 y 3.19 t/ha, respectivamente. Esta influencia del ambiente en la expresión del potencial de los genotipos se refleja en el análisis combinado donde la interacción localidad x tratamiento indica diferencias estadísticas; lo cual sugiere una respuesta diferencial de los cultivares a los ambientes.

Determinar la ganancia genética obtenida con los nuevos híbridos, es preponderante en este tipo de estudio especialmente cuando se hacen comparaciones con los híbridos comerciales. El Cuadro 3 permite hacer comparaciones entre algunos híbridos experimentales y comerciales actualmente en uso en Panamá por el Programa Nacional de IDIAP, ICTA y Pioneer.

Nótese la similitud de los híbridos experimentales en cuanto a días de floración y altura de mazorca. En general éstos híbridos presentaron valores relativamente bajos (menos de 10%) de porcentaje de mazorcas podridas y con mala cobertura, éstos caracteres son importantes destacarlos, puesto que, se ha hecho mucho énfasis en el mejoramiento integral de éstas características de incalculable valor económico. El promedio de estos cultivares experimentales fluctuó de 4.52 a 5.05 t/ha; indicando el alto potencial de rendimiento de los mismos. Los híbridos E-2416, ICTA 9122 y E-216 B fueron los más sobresalientes en este grupo. Dentro de los comerciales se destaca que el híbrido H-203 resultó ser el más precoz; en tanto que el X-3098 presentó la mayor altura de mazorca con 132 cm; los demás materiales presentaron valores inferiores a 120 cm. Los datos en porcentaje de mazorcas podridas y con mala cobertura fueron menores en el X-3078 con 5.3 y 5.6 % respectivamente; sin embargo presentó el rendimiento más bajo en este grupo. Por el contrario, el híbrido nacional P-8916 presentó el valor más alto de mazorcas con mala cobertura (17%) pero su porcentaje de mazorcas podridas fue similar al resto. No obstante, el P-8916 presenta el rendimiento más alto, seguido por el P-8916 B, que es una versión

mejorada del P-8916 para cobertura; los datos indican progresos satisfactorios para ésta característica.

Si comparamos el comportamiento de los híbridos experimentales con los comerciales (Cuadro 3), en cuanto a la variable rendimiento, se observa que los híbridos experimentales fueron superiores, prácticamente todos estuvieron sobre la media de las 13 localidades (4.42 t/ha). En tanto que los comerciales a excepción de P-8916 y P-89916 B con medias de 4.74 y 4.68 t/ha, presentaron rendimiento por debajo de la media de las 13 localidades. Estos datos adquieren mayor importancia cuando los incrementos en rendimiento de los experimentales va acompañado de buenas características agronómicas y capacidad de adaptación a los diferentes ambientes.

La respuesta de los genotipos a los diferentes ambientes puede variar de acuerdo a las condiciones prevalecientes (Córdova, 1990), por ello, los programas de mejoramiento genético tratan de desarrollar cultivares que presentan un comportamiento estable a través de ambientes contrastantes; en este sentido, una herramienta útil para el mejorador lo representa el análisis de estabilidad. Uno de los modelos más utilizados es el propuesto por Eberhart y Russell (1966), que considera a un cultivar estable cuando $B_1=1$ y $Sd_1=0$ y con media de rendimiento alta. En el Cuadro 3, observamos las medias y los parámetros de estabilidad del rendimiento de los cultivares de maíz evaluados en 13 ambientes de Panamá; el mismo identificó a los híbridos ICTA 9122, E-616B, P-8916B y X-3086 como los más estables. El híbrido doble E-232 presentó el coeficiente de regresión más alto, lo cual lo clasifica como un híbrido que responden en ambientes favorables.

En este tipo de estudio es importante determinar la ganancia genética obtenida, especialmente cuando se hacen comparaciones con los híbridos comerciales. El Cuadro 3 permite hacer comparaciones entre algunos híbridos experimentales y comerciales actualmente en uso en Panamá, generados por el Programa Nacional de IDIAP, ICTA y Pioneer. El Cuadro 4 muestra los 8 cultivares más sembrados en Panamá. Un análisis retrospectivo de 5 años de evaluación que abarca 57 localidades, sugiere que el X-304 C es superado por los híbridos de reciente introducción con un rango de 6.4% hasta 16.8% (Alvarado *et al*, 1988, 1989, 1990, 1991). La variedad Guararé 8128 ha igualado también al X-304 C a través de los años.

Cuadro 3. Medias de Rendimiento y otras características agronómicas de los cultivares comerciales y experimentales de maíz evaluados en 13 localidades, Panamá 1992-1993.

Cultivar	daf <i>días</i>	altpl <i>cms</i>	altmz <i>cms</i>	pltot	% acame	mztot	%mz podr	asp mz	%mz cob	rend <i>kg/ha</i>	Bi	Sbi ²
Experimentales												
E-2416	56	228	121	42	16.4	40	4.4	4.0	6.3	5051	1.21	0.22
ICTA 9122	55	238	118	38	14.6	37	4.3	3.0	7.0	4903	0.97	0.09
E-216B	54	245	119	41	19.3	40	5.4	3.5	8.1	4765	1.11	0.09
E-616B	54	245	115	41	24.4	39	6.7	3.4	7.0	4638	1.08	0.06
E-232	55	230	112	42	17.9	41	6.5	3.5	5.5	4616	1.24	0.07
P-9006	55	237	121	37	27.2	36	5.7	3.2	7.1	4565	0.89	0.13
X-3086	55	234	123	38	18.7	35	4.8	3.6	5.4	4550	1.01	0.11
E-632	54	234	113	42	23.9	40	6.2	3.4	6.2	4542	1.12	0.06
E-6416	55	241	117	36	28.5	35	8.9	3.2	9.4	4524	0.95	0.15
Comerciales												
P-8916	54	236	119	41	14.9	39	8.5	3.5	17.0	4740	1.11	0.10
P-8916B	54	235	116	42	11.5	41	7.6	3.0	9.5	4682	0.95	0.11
X-3098	54	239	132	41	22.3	39	8.0	3.8	6.6	4480	1.05	0.12
XL-604	55	232	124	41	13.2	39	9.4	3.7	6.5	4372	1.01	0.13
P-8814	55	241	114	36	14.5	34	8.1	3.4	7.9	4291	1.09	0.10
P-8812	56	240	117	35	13.4	32	6.4	3.3	8.4	4254	1.08	0.12
H-203	53	229	112	40	17.7	37	8.2	3.1	8.9	4176	1.07	0.11
X-304 C	54	241	117	39	15.1	36	7.9	2.9	8.6	4158	0.62	0.17
X-3078	54	227	112	39	20.5	37	5.3	3.3	5.6	4151	0.73	0.15
Variedades de Polinización Libre												
Guararé	54	236	117	39	14.5	36	8.2	3.4	6.0	4125	0.91	0.09
OC-BO-60	54	229	108	38	13.5	36	10.1	3.2	7.9	3965	0.73	0.15
Alanje	53	240	119	38	20.0	34	8.3	3.6	5.8	3640	1.05	0.13
Media										4418		

Cuadro 4. Rendimiento promedio de grano (kg/ha) de ocho cultivares comerciales de maíz evaluados durante cinco años en diferentes áreas maiceras de Panamá, 1993.

Cultivares	1988	1989	1990	1991	1992	Media de cultivares	% sobre testigo
P-8916	-	4818	5134	5328	4740	5005	116.8
P-8812	4782	4958	4876	5395	4254	4853	113.3
X-3098	4706	-	4877	5239	4480	4825	112.6
P-8814	4923	4573	4700	5098	4291	4717	110.1
XL-604	-	4585	4391	4884	4372	4558	106.4
X-304 C (Test)	4070	3840	4400	4946	4158	4283	100.0
Guararé	4311	3762	4287	4729	4125	4243	99.0
Alanje	2898	3832	4031	4456	3640	3143	73.4
Prom anual	4350	4289	4521	4835	4418	4453	
No Loc's	6	9	12	17	13	57	

CONCLUSIONES

1. La interacción genotipo-ambiente fue significativa siendo los ambientes de Río Hato, El Macano, Tres Quebradas y Siogú los más favorables.
2. Los híbridos experimentales superaron en rendimiento a los comerciales además de poseer mayor tolerancia a la pudrición de mazorca y buena cobertura.
3. La mayoría de los híbridos comerciales presentaron rendimiento por debajo de la media para las 13 localidades (4.42 t/ha).
4. Dentro del grupo de los híbridos comerciales se destacan por su buen rendimiento el P-8916 y P-8916B. El P-8916 a pesar de tener un mayor porcentaje de mazorcas descubiertas, mostró buena tolerancia a la pudrición de mazorca. Los híbridos ICTA 9122, E-6116B, P-8916B y X-3086 fueron identificados como los más estables en su rendimiento.
5. Los datos obtenidos de 5 años de continuas evaluaciones indican que el X-304 C, sigue siendo superado por los mejores híbridos del programa nacional y los híbridos importados X-3098 y XL-604.

REFERENCIAS

Alvarado, A. et al 1988. Evaluación de híbridos y variedades comerciales y promisorios de maíz en 6 localidades Panamá, PCCMCA. Programa Regional de Maíz de CIMMYT para Centro América, Panamá y el

Caribe. 1989. pag.-25-33.

Alvarado, A. et al 1989. Evaluación de cultivares de maíz de grano amarillo en 9 zonas productoras de Panamá. Programa Regional de Maíz de CIMMYT, para Centro América el Caribe y Panamá. 1989 pag.-50-66.

Alvarado. A et al 1990. Evaluación de cultivares de maíz de grano amarillo en 12 localidades de Panamá, Programa Regional de Maíz de CIMMYT, para Centro América, para el Caribe 1990. pag.-35-50.

Alvarado, A. et al 1991. Evaluación del Rendimiento, estabilidad y otras características agronómicas de cultivares de maíz de grano amarillo en diferentes zona de Panamá.

Córdova, H. 1990. Estimación de Parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centro América, Panamá y México. PCCMCA 1990. Programa Regional de maíz de CIMMYT para Centro América, Panamá y El Caribe 1989. pag. 2-17.

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

Marquez, F. 1985. Genotecnia Vegetal, métodos, teoría y resultados. Tomo I, AAGT-Editora S.A. México.

Sprague G.F. 1955 *Corn and Corn Improvement*. Academic Press Inc. Publisher. N.Y.

Vasal S.K., Vergara N.; G. Srinivasan. 1991. Comportamiento de híbridos intra e interproblacionales entre líneas endocriadas e implicaciones de estos resultados en el desarrollo de híbridos. Memoria XXXVII Reunión Anual PCCMCA. Panamá..

Evaluación de las Diferencias de Rendimiento entre Híbridos y Variedades de Maíz (*Zea mays* L.) en Cuba

Cecilio Marcos Torres y Arnoldo Rodríguez¹

RESUMEN

En Cuba se siembran entre 70 y 100 mil ha de maíz anualmente en el ciclo de primavera, el 60% con híbridos y el restante con variedades de polinización libre (VPLs). Sin embargo, se desconocen las diferencias entre los híbridos y VPLs usadas en el país. Este estudio tiene por objetivos evaluar las diferencias y sus bases fisiológicas entre híbridos y VPLs disponibles en Cuba para la producción nacional. Se evaluaron 7 híbridos y 8 variedades de polinización libre (VPLs) en el ciclo de primavera en la estación experimental El Tomeguín. Los resultados muestran que los híbridos rinden por encima de las VPLs en promedio en 1.43 ton/ha. Estas diferencias se deben a un mayor peso de mazorca (120 versus 97 g/mz), un mayor número de mazorcas por unidad de área (4.42 vs 4.00 mz/m²) y un incremento en la prolificidad (103 vs 97%). Los híbridos Cuba T-3, T-5, T-6, T-9 y las VPLs Pichilingue 7928 y Guararé 8328 mostraron buena adaptación a las condiciones de Cuba. Se recomienda evaluar otros materiales para entender mejor las bases de las diferencias entre híbridos y variedades en Cuba.

En Cuba, en la época de primavera se cultivan entre 70 y 100 mil ha de maíz para la producción de maíz tierno (elotes), de grano seco y de semilla, de las cuales el 60% aproximadamente se siembran empleando semilla de maíz híbrido y un 40% con semilla de variedades de polinización libre (VPLs). En la actualidad no se cuenta con una investigación específica dirigida a evaluar o identificar las diferencias de rendimiento existentes entre los híbridos y las variedades utilizadas en la producción nacional de maíz.

En la literatura nacional e internacional un número considerable de estudios y referencias bibliográficas muestran que las VPLs son de menor rendimiento que los híbridos resultando en la actualidad un hecho sin lugar a dudas. En un estudio comparando 4 híbridos y 5 VPLs del Programa Regional de Maíz (PRM), Bolaños (1993) reporta que los híbridos en promedio rindieron de 1.0 a 1.5 t/ha por encima de las VPLs en un rango amplio de ambientes a través de Centro América. Estas diferencias se deben a una mayor

eficiencia de llenado de grano, mejor índice de cosecha, y mayor peso promedio de mazorca (Bolaños, 1993).

Sin embargo, en Cuba no se han hecho muchos estudios de investigación específica para evaluar las diferencias de rendimiento entre los híbridos y las variedades comerciales y precomerciales de maíz recomendadas a la producción en el país, ni como tales diferencias influyen en la elaboración y obtención de mayores rendimientos. Las bases fenológicas, morfológicas y/o fisiológicas de las ganancias genéticas de los cultivares de maíz en Cuba se desconoce. La caracterización de estos parámetros feno-morfo-fisiológicos en los cultivares de Cuba ayudará a entender las bases genéticas del progreso obtenido y proveerá pautas para modificar las estrategias a seguir en el futuro. Por ejemplo, en híbridos actualmente disponibles en la zona maicera de los Estados Unidos, la densidad óptima de siembra excede 70 mil pl/ha, el índice de cosecha excede 0.55, y el cultivo dedica más del 60% de su tiempo termal al llenado de grano. En contraste, estudios en germoplasma de maíz tropical similares a los cultivares del PRM indican densidades óptimas cerca a los 50 mil pl/ha, un índice de cosecha de 0.40, y menos del 50% de la duración del cultivo para el llenado de grano.

Existen varias avenidas para incrementar la productividad (fracción cosechable) de un cultivo: (a) un incremento en la duración del cultivo o la proporción 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 proporción de la materia seca destinada a la mazorca reflejando una mejoría en el índice de cosecha, (d) una mejoría en la tolerancia a la densidad y la capacidad de retener la mazorca en condiciones de estrés (Bolaños, 1993).

Los objetivos del estudio son identificar las bases fisiológicas de las diferencias de rendimiento entre los híbridos y las variedades de maíz utilizadas en la producción en el país.

¹Coordinador Nacional de Maíz e Investigador, Estación de Granos El Tomeguín, Alquizar, Ministerio de Agricultura y Ganadería, La Habana, Cuba.

MATERIALES Y METODOS

En la época de siembra húmeda o de primavera se estableció un ensayo con 15 cultivares de maíz. Sus características se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Híbridos y variedades utilizados en el ensayo.

Ent	Denominación	Tipo	Origen
1	HD. T-66	Híbrido doble	Cuba
2	Pichilingue 7928	VPL	CIMMYT
3	VS. T-6	VSPL	Cuba
4	Francisco	VPL	Cuba
5	Gibara	VPL	Cuba
6	Tuson	VPL	Cuba
7	Across 8126	VPL	CIMMYT
8	HSV. T-73		Cuba
9	HSV. T-59		Cuba
10	CUB. T-3	Híbrido doble	Cuba
11	CUB. T-5	Híbrido doble	Cuba
12	CUB. T-6	Híbrido doble	Cuba
13	CUB. T-9	Híbrido doble	Cuba
14	Guarare 8328	VPL	CIMMYT
15	QPM 8093	VPL	CIMMYT

Abreviaturas: VPL variedad de polinización libre; VSPL variedad sintética de polinización libre; T en la denominación = Torres. Autor de la Cruza, el Híbrido o la Variedad.

Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con 4 réplicas con parcelas de 9 m² de área de cálculo para cada cultivar, cada parcela consta de 40 plantas para una densidad de población de 44,444 pl/ha, siendo la unidad experimental de 2 surcos de 5 m de largo. La siembra se realizó en la Estación de Granos El Tomeguín en suelo rojo ferralítico hidratado a 50 msnm. Las variables a registrar fueron días a floración masculina, altura de la mazorca, altura de planta, calificación a enfermedades, mazorcas podridas, cobertura de mazorca, calificación del aspecto de la planta y de la mazorca, acame de raíz y de tallo y rendimiento en grano.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la época de siembra húmeda o de primavera con regadío el cultivo del maíz en Cuba es afectado por estreses hídricos, nutricionales y climatológicos que ocasionan una disminución en el rendimiento en comparación con la época seca-frío siendo la fase de llenado del grano la más afectada y la que más contribuye a las diferencias de rendimiento observadas entre los híbridos y las variedades y entre épocas. Bajo estas condiciones climatológicas de la época de primavera los rendimientos de los híbridos

son superiores al de las variedades. Esta característica de los híbridos ha sido informada a nivel mundial por diferentes autores. El análisis general del experimento en cuanto a rendimiento y características agronómicas importantes del conjunto de 15 cultivares se presentan en el Cuadro 2. El mayor rendimiento fue de 5.91 t/ha con el híbrido doble Cuba T-5 y el menor con la variedad Across 8126, con diferencias significativas estadísticamente entre sí. La media general de rendimiento fue de 4.56 t/ha y solamente los híbridos la superaron (Cuadro 2).

En cuanto a otras características agronómicas importantes como son los días a floración masculina se aprecia que 6 de los 7 híbridos del experimento quedaron por debajo de la media general que fue de 53 días. Solamente igualaron esta característica 3 de las 8 variedades ya que 5 de ellas florecieron después de los 53 días. En relación a la altura de las plantas tanto los híbridos como las variedades alcanzaron valores que no difieren del valor de la media que fue de 275 cm, excepto 3 variedades que alcanzaron menor altura (Cuadro 2).

Podemos apreciar además de los resultados señalados, la existencia de dos grupos bien definidos entre los cultivares en estudio. Uno formado por las entradas correspondiente a los híbridos y otro por las variedades (Cuadro 2). En el grupo de los siete híbridos, se puede observar el rendimiento y características agronómicas importantes de cada uno de ellos y la media general, el mayor rendimiento fue de 5.91 t/ha híbrido Cuba T-5 y el menor 4.80 t/ha híbrido HSV T-53 con diferencias estadísticas significativas entre sí. La media general fue de 5.32 t/ha (Cuadro 2). En el Cuadro 2 se presentan las ocho variedades de polinización libre con su mayor rendimiento que fue de 4.51 t/ha Pichilingue 7928 y el menor que fue de 2.62 t/ha para el Across 8126 difiriendo significativamente entre sí. La media general fue de 3.89 t/ha.

Haciendo comparaciones entre el híbrido de mayor rendimiento Cuba T-5 (5.51 t/ha) y la variedad de igual característica Pichilingue 7928 (4.51 t/ha) se identifican diferencias de rendimiento de 1.40 t/ha entre el híbrido y la variedad equivalente al 131% de productividad superior a favor del híbrido. Entre las medias de rendimiento de 5.32 t/ha en los híbridos, y de 3.89 t/ha en las variedades, tenemos una diferencia de 1.43 t/ha a favor de los híbridos lo que significa en este caso un 137% de rendimiento también a favor de los híbridos.

Cuadro 2. Medias de rendimiento y características agronómicas de los híbridos y variedades de polinización libre en el ensayo de primavera 1992. Letras iguales muestran similitud estadística según Duncan al 5% de probabilidad.

Entrada	Rend t/ha	Días a flor	Altura planta cms	Altura mazorca cms	Plantas por m ²	Mazorcas por m ²	Pes maz g	Maz por pl	Asp pl 1-5	Asp mz 1-5	Acam Raíz %	Asp Phy 1-5
Híbridos												
Cuba T5	5.91 A	52 CD	276 AB	151 BCDE	4.33 AB	4.44 AB	133	1.03	1	1	6	0.5
Cuba T3	5.90 A	52 CD	279 AB	164 BC	4.33 AB	4.33 ABC	136	1.00	1	1	5	0.5
Cuba T6	5.50 AB	50 D	279 AB	143 BCDE	4.33 AB	4.44 AB	124	1.03	1	1	1	0.5
HSV T59	5.15 BC	50 D	275 AB	143 BCDE	4.33 AB	4.33 ABC	119	1.00	1	1.5	3	0.5
HD T66	5.05 BC	59 A	277 AB	140 DEF	4.22 BC	4.33 ABC	117	1.03	1	2	1	0.5
Cuba T9	4.94 BC	48 E	286 A	149 BCDE	4.33 AB	4.56 A	108	1.05	1	1	5	0.5
HSV T73	4.80 C	51 D	284 AB	158 BCD	4.44 A	4.33 ABC	111	0.99	1	1.5	4	0.5
Prom Híbridos	5.32	52	279	150	4.33	4.42	120	1.03	1	1.2	3.6	0.5
Variedades de Polinización Libre (VPLs)												
Pichilingue 7928	4.51 CD	56 B	271 AB	140 DEF	4.22 BC	4.22 ABCD	107	1.00	1	2	2	0.5
Guararé 8328	4.51 CD	56 B	263 B	116 G	4.11 CD	4.00 ABCD	113	0.97	1	1.8	0	0.5
VS T6	4.48 CD	56 B	284 AB	135 DEFG	4.22 BC	4.11 ABCD	109	0.97	1	2	5	0.5
Francisco	4.03 DE	52 CD	290 A	186 A	4.00 DE	3.89 BCD	103	1.00	2	1.8	9	0.5
Gibara	3.76 E	54 C	283 AB	165 B	4.00 DE	3.89 CD	97	0.97	1.8	2	6	0.5
Tuson	3.61 E	58 A	278 AB	139 DEF	4.11 CD	3.78 D	96	0.90	2	2	8	0.5
QPM 8093	3.59 F	52 D	263 B	130 EFG	4.11 CD	4.11 ABCD	87	1.00	1	2.8	0	0.5
Across 8126	2.62 F	45 F	243 C	118 FG	4.33 AB	4.00 BCD	66	0.92	1.5	3.5	4	0.5
Prom VPLs	3.89	54	272	141	4.11	4.00	97	0.97	1.4	2.2	4.3	0.5
Dif Híbr-VPLs	1.43	-2	7	9	0.22	0.42	23	0.06	-0.4	-1.0	-0.7	0

En ambas comparaciones se identifican de forma consistente diferencias numéricas de rendimiento a favor de los híbridos del orden de 1.4 toneladas de grano por hectárea lo que equivaldría a unas 14,000 toneladas más de producción por cada 10,000 hectáreas cultivadas con semilla de maíz híbrido tanto de los comerciales como de los precomerciales utilizados en este estudio. Los componentes de rendimiento que más influencia tuvieron en favor de la mayor productividad de los híbridos fueron la prolificidad de producción de mazorcas con un peso de grano de 120 gramos en los híbridos y solo de 97 gramos en las variedades.

CONCLUSIONES

1. Se confirmó que las variedades de polinización libre son de menor rendimiento que los híbridos destinados a la producción de maíz en Cuba.
2. La influencia de la diferencia de rendimiento de 1.4 ton/ha a favor de los híbridos equivalen a unas 14,000 ton más de producción por cada 10,000

hectáreas cultivadas con semilla de maíz híbrido.

3. Se identificaron cultivares de rendimiento superior que entre los híbridos son: Cuba T-3, Cuba T-5, Cuba T-6, HSV T-59, Cuba T-9, HD T66, y las variedades Pichilingue 7928, Guarare 8328, VS T6 y Francisco.
4. Se recomienda organizar la política varietal y la producción de semilla de maíz en el país tomando en cuenta las conclusiones de esta investigación. También se recomienda establecer como normativa oficial en Cuba la evaluación de las diferencias de rendimiento entre híbridos y variedades propuestos a generalización ya que sin esa información no se podrán incluir en la política varietal de producción de semilla.

REFERENCIAS

- Bolaños, J. 1993. Bases fisiológicas del progreso genético en los cultivares del PRM. p. 11-20 en Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT, Guatemala.

Predicción de Híbridos de Maíz de Grano Blanco a Partir de Cruzas Dialélicas en Seis Ambientes de Centro América, 1992

L. Larios, S. Castellanos, J.L. Quemé y C. Pérez¹

RESUMEN

Los mejoradores buscan nuevas frecuencias génicas que se expresen en mayores rendimientos a las variedades que se encuentran en el mercado. En 1991 en los ensayos regionales del PRM a través de Centro América se identificaron 10 líneas con buena aptitud combinatoria. En 1992 se conformó un ensayo dialélico cuyas cruza simples se evaluaron en 6 localidades de Centro América bajo los siguientes objetivos: 1) estimar los efectos de aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE), 2) realizar predicciones de rendimiento de cruza dobles a partir de la información de las cruza simples (CS) y 3) generar híbridos para las diferentes regiones del PRM. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas para las CS evaluadas tanto a nivel individual como en el combinado, así como la interacción genotipo-ambiente indicando que las CS tuvieron un comportamiento diferente en cada localidad. Las mejores CS a nivel combinado fueron 1302 X 1308, 1306 X 1308, 1303 X 1305 y 1305 X 1306, con rendimientos de 7.16, 6.95, 6.92 y 6.90 t/ha, respectivamente. La mayor contribución a la suma de cuadrados de las CS se debió a la suma de cuadrados de ACE (73%). En cuanto a los efectos de ACG, las líneas 1308, 1305, 1306 y 1309 mostraron efectos positivos de 0.33, 0.24, 0.15 y 0.10 t/ha, respectivamente. La mayoría de los cruces mostraron efectos positivos de ACE, siendo las tres mejores cruza 1302 x 1308, 1302 x 1309 y 1303 x 1305 con efectos de 0.57, 0.36 y 0.27 t/ha. Tomando como base el rendimiento de las cruza, al realizar las predicciones por el método B de Jenkins (1934), se lograron precedir un grupo de 20 cruza dobles con rendimientos aceptables siendo las tres mejores (1302 x 1306) (1305 x 1308), (1302 x 1306) (1308 x 1309) y (1302 x 1303) (1308 x 1309) con rendimientos predichos de 6.96, 6.87 y 6.84 t/ha. En base a estos resultados se han logrado identificar frecuencias génicas que al ser cruzadas en forma específica pueden conducir a obtener híbridos superiores a los existentes dentro del PRM.

En un programa de formación de híbridos, influye mucho el criterio del mejorador, así como la metodología que se utilice para explotar la variabilidad genética con que se cuente, para llegar a identificar progenitores que presenten valores altos de aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE). Además se debe de tomar muy en cuenta los componentes de varianza a la hora de la selección, siendo importante para el mejorador la varianza que es controlada por la acción génica aditiva. Cuando se quiere obtener combinaciones específicas, como en el caso de los híbridos, la acción génica no aditiva será

de importancia.

El mérito de cualquier línea pura desarrollada es el comportamiento de sus combinaciones híbridas, tomándose en cuenta dos atributos: la diversidad genética de la fuente de germoplasma y la correlación existente entre los caracteres de las líneas endocriadas así como su progenie híbrida (Poey *et al.*, 1977). Un método para la selección eficaz de líneas son los cruzamientos dialélicos, donde se ensayan un número de $P(P-1)/2$ cruza F_1 posibles para identificar aquellas que presenten mayores caracteres deseables. Hayman (1954) indica que los dialelos pueden ser todo el conjunto de apareamientos posibles. Griffing (1956) describe cuatro técnicas de poder realizar las cruza dialélicas, siendo las cruza directas $P(P-1)/2$ (Método 4) las que más se utilizan en maíz ya que no toma en cuenta los efectos maternos.

Las estimaciones de ACE es un método por medio del cual se identifican los híbridos F_1 de mayor rendimiento de todas las cruza simples posibles formadas a partir de n líneas (Brauer, 1980). Esto consiste en cruzar líneas en pares para formar cruza simples permitiendo seleccionar cruzamientos específicos superiores, así como los valores de heterocigosis. Los ensayos dialélicos son una forma de hacer las cruza e interpretarlos por medio de los métodos de Griffing (1956).

Actualmente el Programa Regional de Maíz (PRM) para Centro América y el Caribe ha generado líneas con alto grado de endogamia (S_6) con el propósito de encontrar híbridos convencionales con alto rendimiento con buena adaptación a la zona trópic baja entre 0-1000 msnm. El objetivo de este estudio fue evaluar las cruza dialélicas de 10 líneas elite del PRM de grano blanco en 6 localidades de Centro América. Objetivos específicos eran: 1) Estimar los efectos de aptitud combinatoria general y específica, 2) Realizar predicciones de rendimiento de cruza dobles a partir de la información de las cruza simples, 3) Generar híbridos con potencial de adaptación a las diferentes regiones maiceras de Centro América.

¹ Investigadores de Maíz, ICTA, Guatemala.

MATERIALES Y METODOS

El material genético usado en este estudio forma parte del germoplasma del PRM con diferentes orígenes. En los ensayos regionales del PRM de 1991 se identificaron 10 líneas con las mejores aptitudes combinatorias a través de Centro América y El Caribe. El origen de este grupo de líneas son diferentes poblaciones de maíz como la 21, 22, 43, 49, Tuxpeño Selección Sequía, Santa Rosa 8073, y Pool 24 con alto grado de endogamia (S_6). Las 10 líneas tienen la siguiente genealogía:

1301	Pob 21(STE)C1HC10-1-3-1-1-2-⊗b-#
1302	Pob 43(STE)C1HC10-2-1-1-1-3-⊗b-#
1303	Pob 49(STE)C5HC10-2-1-3-1-3-⊗b-#
1304	H-25-2-1-1-1-⊗b-#
1305	Pool 24(S58x132)-6-3-2-2-⊗b-#
1306	Pob 21C5HC205-1-1-⊗b#4-4-⊗b-⊗b-#-#
1307	Pob 21C5HC218-2-3-3-⊗b-#-b#-⊗b-⊗b-#-#
1308	Pob 22HC-100(S_2)-20-3-⊗b-⊗b-⊗b-⊗b-⊗b-#-#
1309	Tuxpeño Sequía 171-1-2-⊗b-⊗b-⊗b-#-#
1310	Sta Rosa 8073-6-1-1-#-b#-⊗b-⊗b-#-#

Dichas líneas sirvieron de base en 1992A para formar un dialelo de 45 cruzas simples (CS) a ser evaluadas en 6 localidades entre los 0-1000 msnm en Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica en el ciclo normal de junio a octubre de 1992. Los tratamientos consistieron en una serie de cruzas simples (CS) así como una serie de testigos; en un diseño de látice simple de 7x7 con tres repeticiones. Se hizo el control de malezas de acuerdo a cada localidad así como un buen manejo agronómico, usando niveles de fertilización en general de 100-40-0 kg/ha. Los datos agronómicos recabados fue todo lo relacionado a características que puedan dar una idea del comportamiento de los diferentes genotipos, siendo estos los siguientes: días a flor femenina, altura de planta y mazorca, acame de raíz y tallo, mala cobertura, mazorcas podridas, rendimiento y el aspecto fitosanitario.

El análisis de varianza para rendimiento fue conforme a un diseño de látice simple a nivel individual ya que se encontró que no existió homogeneidad de varianzas para realizar el análisis combinado. Tomando como base dichos análisis se procedió a realizar el análisis dialélico por el método cuatro de Griffing (1956) (Martínez, 1975), el cual ensaya P(P-1)/2 cruzas posibles en un solo sentido. Con los resultados de las cruzas simples se procedió a la predicción de híbridos de cuatro vías basado en el método B de Jenkins (1936).

RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 1 presenta las fuentes de variación para rendimiento por localidad y combinado, donde se observa la significancia ($\alpha < 0.01$) que existió para rendimiento a nivel individual, donde se puede inferir que el comportamiento de las cruzas simples fue diferente entre ellas a nivel de localidad, dando la idea que al menos un (unos) genotipo (s) tiene una expresión superior con relación al resto de las cruzas. Basado en la significancia de los tratamientos (cruzas) del análisis general, se procedió a descomponer la fuente de variación en ACG y ACE.

En el Cuadro 2 se notan los resultados del análisis de varianza individual por el método cuatro de Griffing. Observándose que la mayor contribución al rendimiento se debe a la fuente de variación de ACE ya que en cuatro de las seis localidades la suma de cuadrados de ACE fue mayor que los de ACG, pudiéndose inferir que el fenotipo observado de las cruzas de debe en mayor parte a efectos de varianza no aditiva (dominancia y epistasis). Resultados contrarios fueron reportados por Vasal *et al.* (1992) en un estudio con poblaciones de maíz en donde la mayor contribución relativa a la suma de cuadrados fue de ACG. Estos autores indicaron que la ACG para rendimiento de grano de 67%, tanto que para ACE de 33%. En este estudio se puede inferir que la suma de cuadrados de ACE es el que más contribuye (73%) y la ACG solamente en un 27%. Lo anterior se puede deber a que se ensayaron genotipos con parentales con alta hemocigosis y es de esperarse que cuando los progenitores tienen niveles altos de endogamia la ACE es la que más contribuye a la varianza de cruzas. Esto se debe interpretar en luz que los efectos no aditivos son más importantes a medida que avanza la endogamia de los padres involucrados debido a que existen mayor número de loci en estado homocigoto (Crossa *et al.*, 1990).

El Cuadro 3 muestra las estimaciones de ACG. De las 10 líneas involucradas en este estudio sólo 4 (1308, 1305, 1306 y 1309) muestran una ACG positiva, en promedio de 0.33, 0.24, 0.15 y 0.10 t/ha, respectivamente. En forma similar lo muestra la ACE (Cuadros 4 a 9) donde la mayoría de las cruzas muestran efectos positivos. Esto es esencial para identificar cruzas específicas que sirvan de base para formar las nuevas combinaciones híbridas.

Cuadro 1. Análisis de varianza individual para rendimiento a través de seis ambientes de Centro América, 1992.

Fuente de variación	Cuadrados Medios						
	GL	Cuyuta	SJerón	SAndr	Omon	SCrist	Guanac
Reps	2	1.79	22.14	0.94	0.38	4.74	3.97
Trat	48	1.63**	1.32**	1.86**	2.46*	0.90**	1.51**
Bloques	18	0.38	2.74	0.27	2.96	2.46	1.70
EE	78	0.22	0.66	0.19	1.50	0.79	0.94

Cuadro 2. Análisis de varianza individual por el método cuatro de Griffing a través de seis localidades de Centro América, 1992.

F.V	Cuadrados Medios						
	GL	Cuyuta	SJerón	SAndrés	Omonita	SCrist	Guanac
Rep	2	1.27	21.36	1.10	0.85	3.23	3.95
Cruzas	44	1.74	1.21	1.97	2.12	0.91	1.56
ACG	9	1.82	0.63	2.28	0.42	0.44	0.87
ACE	35	0.26	0.34	0.24	0.78	0.27	0.43
Error	88	0.1	0.3	0.07	0.54	0.25	0.32

Cuadro 3. Estimación de los efectos de aptitud combinatoria (acg) (t/ha) de diez líneas de maíz evaluadas en seis ambientes de Centro América, 1992.

Progenitor	Cuyuta	SJerón	SAndrés	Omonita	SCrist	Guanac
1301	-0.28	-0.17	-0.57	-0.20	-0.22	-0.31
1302	-0.81	-0.25	-0.19	0.25	0.02	0.64
1303	-0.40	0.26	-0.20	-0.03	0.42	-0.28
1304	-0.35	-0.31	0.52	0.09	-0.35	-0.40
1305	0.54	0.27	0.31	-0.01	-0.21	0.32
1306	0.18	0.25	0.15	0.07	0.19	-0.09
1307	-0.03	-0.22	-0.59	0.45	0.10	-0.13
1308	0.50	0.04	1.08	-0.12	0.13	0.04
1309	0.68	0.42	0.00	-0.32	-0.18	-0.10
1310	-0.03	-0.30	-0.51	-0.19	0.10	0.31
E.E.D.	0.16	0.28	0.13	0.37	0.25	0.28

Las cruzas con efectos positivos de ACE también mostraron rendimientos altos en las localidades de evaluación. Tomando lo anterior en cuenta y los rendimientos de las cruzas simples que mostraron estabilidad en rendimiento en todas las localidades (Cuadro 10) se procedió a seleccionar las mejores cruzas para realizar las predicciones de híbridos en base al método B de Jenkins (1934) donde se identificaron un grupo de 20 híbridos dobles predichos, mostrándose los mejores en el Cuadro 11,

así como el porcentaje de heterosis sobre el testigo, notándose que existen híbridos con rendimientos superiores al testigo que van desde 6.76 a 6.96 t/ha, mientras que el híbrido HB-85 mostró un rendimiento de 6.07 t/ha, esto significa que se han encontrado cruzas dobles con un porcentaje de heterosis de 111 a 115% con rendimiento para la C.S. hembra de 6.19 a 6.95 t/ha (Cuadro 11) que sirvieron de base para formar los híbridos dobles.

Cuadro 4. Efectos de aptitud combinatorio específica (ace) t/ha de cruzas simples evaluadas en Cuyuta, 1992.

Progenitores	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310
1301	-									
1302	0.18	-								
1303	-0.46	-0.84	-							
1304	0.22	0.43	0.26	-						
1305	-0.23	0.26	0.54	-0.57	-					
1306	-0.25	0.22	0.13	0.24	-0.15	-				
1307	-0.07	-0.13	0.41	-0.44	-0.22	-0.11	-			
1308	0.62	0.21	0.66	0.02	-0.02	0.10	-0.29	-		
1309	0.18	0.43	0.32	-0.17	0.12	-0.51	0.33	-1.45	-	
1310	-0.19	-0.76	-1.04	-0.01	0.260	0.32	0.51	0.15	0.76	-
E.E.D. 1 ¹										0.41
E.E.D. 2										0.38

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

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

Cuadro 5. Efectos de aptitud combinatorio específica (ace) t/ha de cruzas simples evaluadas en San Jerónimo, 1992.

Progenitores	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310
1301	-									
1302	0.30	-								
1303	-0.08	-0.02	-							
1304	0.25	-0.57	-0.42	-						
1305	0.55	0.44	0.22	-0.25	-					
1306	0.29	0.36	-0.78	0.63	-0.65	-				
1307	-0.71	0.06	-0.61	0.71	-0.27	0.02	-			
1308	0.08	-0.03	0.78	-0.70	0.13	0.02	0.68	-		
1309	-0.36	0.22	0.11	0.24	0.50	0.73	-0.74	1.16	-	
1310	-0.32	-0.76	-0.79	0.11	-0.69	-0.63	0.86	0.19	0.45	-
E.E.D. 1 ¹										0.73
E.E.D. 2										0.68

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

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

Cuadro 6. Efectos de aptitud combinatorio específica (ace) t/ha de cruzas simples evaluadas en San Andrés, 1992.

Progenitores	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310
1301	-									
1302	0.09	-								
1303	-0.14	-0.44	-							
1304	-0.32	0.06	-0.54	-						
1305	0.09	0.27	0.66	-0.46	-					
1306	-0.19	-0.16	0.17	0.49	0.30	-				
1307	-0.03	0.32	-0.40	0.70	-0.73	-0.16	-			
1308	1.17	0.55	-0.06	-0.26	-0.84	0.24	-0.35	-		
1309	-0.00	-0.10	-0.11	0.05	0.46	-0.61	0.46	-0.16	-	
1310	-0.68	-0.57	0.86	0.27	0.26	-0.07	0.18	0-0.28	0.02	-
E.E.D. 1 ¹										0.35
E.E.D. 2										0.32

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

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

Cuadro 7. Efectos de aptitud combinatorio específica (ace) t/ha de cruizas simples evaluadas en Omonita, 1992.

Progenitores	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310
1301	-									
1302	-0.62	-								
1303	-0.18	-1.09	-							
1304	1.46	0.68	0.13	-						
1305	-0.64	-0.07	0.21	0.95	-					
1306	-2.02	-0.81	0.63	-1.03	1.37	-				
1307	0.73	-0.29	0.22	-0.31	0.37	-0.37	-			
1308	0.20	1.38	-0.53	-0.27	-0.85	0.94	-0.78	-		
1309	-0.17	0.58	0.19	-1.27	-0.52	1.02	-0.06	0.83	-	
1310	1.24	0.25	0.42	-0.34	-0.82	0.28	0.50	-0.92	-0.61	-
E.E.D. 1 ¹										0.97
E.E.D. 2										0.89

¹ Error estándar entre la diferencia de dos cruizas que tienen un padre en común.² Error estándar entre la diferencia de dos cruizas que no tienen un padre en común.**Cuadro 8. Efectos de aptitud combinatorio específica (ace) t/ha de cruizas simples evaluadas en San Cristóbal, 1992.**

Progenitores	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310
1301	-									
1302	0.62	-								
1303	-0.12	-0.25	-							
1304	-0.46	-0.43	0.37	-						
1305	-0.07	0.09	-0.13	0.44	-					
1306	0.68	-0.16	-0.01	0.22	-0.18	-				
1307	0.24	-0.35	0.20	0.42	0.17	-0.66	-			
1308	-1.05	0.43	-0.06	0.51	0.21	0.46	0.34	-		
1309	-0.03	-0.21	0.57	-0.65	0.20	-0.25	-0.46	-0.63	-	
1310	0.19	0.26	-0.57	-0.42	-0.73	-0.09	0.11	-0.21	1.46	-
E.E.D. 1 ¹										0.66
E.E.D. 2										0.61

¹ Error estándar entre la diferencia de dos cruizas que tienen un padre en común.² Error estándar entre la diferencia de dos cruizas que no tienen un padre en común.**Cuadro 9. Efectos de aptitud combinatorio específica (ace) t/ha de cruizas simples evaluadas en Guanacaste, 1992.**

Progenitores	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310
1301	-									
1302	0.20	-								
1303	-0.44	-0.89	-							
1304	-0.02	-0.83	0.22	-						
1305	-0.27	0.39	0.38	-0.56	-					
1306	-0.29	-0.10	0.18	0.29	0.26	-				
1307	0.63	-0.96	-0.89	1.26	0.70	-0.27	-			
1308	0.63	0.72	0.57	-0.27	-0.38	-0.67	0.18	-		
1309	-0.58	1.05	0.24	-0.08	-0.60	0.10	0.80	-0.72	-	
1310	0.14	0.41	0.61	-0.02	0.08	0.50	-1.46	-0.06	-0.21	-
E.E.D. 1 ¹										0.75
E.E.D. 2										0.70

¹ Error estándar entre la diferencia de dos cruizas que tienen un padre en común.² Error estándar entre la diferencia de dos cruizas que no tienen un padre en común.

Cuadro 10. Medias de rendimiento por localidad y combinada de las mejores cruza simples de maíz de grano blanco.

Cruza Simple	Rendimiento (t/ha)						
	Cuyuta	SJerón	SAndr	Omon	SCrist	Guanac	Comb.
1302x1308	6.86	9.18	5.83	8.00	6.81	6.76	7.16
1306x1308	7.71	9.32	5.84	7.41	7.03	4.66	9.95
1303x1305	7.74	10.18	5.19	6.72	5.82	5.82	6.92
1305x1306	7.48	9.01	5.16	8.00	6.07	5.87	6.90
1303x1308	7.70	10.10	5.22	5.81	6.71	5.71	6.84
1302x1309	6.95	9.73	4.82	6.74	6.16	6.73	6.81
Testigo							
GB-41 x GB-45	7.54	4.93	4.93	5.14	6.32	5.08	6.22

Cuadro 11. Medias de rendimiento de los mejores híbridos predichos de grano blanco del proyecto regional de maíz, 1993.

Híbrido predicho	Rend Predicho t/ha	% sobre HB-85	Rend. Hem. t/ha
(1305x1308) (1302x1306)	6.95	115	6.64
(1302x1306) (1308x1309)	6.88	113	6.34
(1308x1309) (1302x1303)	6.83	113	6.19
(1305x1308) (1302x1307)	6.78	112	6.64
(1305x1309) (1302x1303)	6.77	111	6.71
(1306x1308) (1302x1305)	6.76	111	6.95
HB-85	6.07	100	
GB-41 x GB-45	6.22		

CONCLUSIONES

1. ACE es la fuente de variación que más contribuyó a la varianza de tratamiento, entendiéndose que los mayores efectos se deben a efectos de varianza no aditiva.
2. De las diez líneas evaluadas solo cuatro mostraron efectos positivos de ACG, siendo la 1308, 1305, 1306 y 1309.
3. Las mejores cruza simples expresaron rendimientos de 6.81 a 7.16 t/ha.
4. Se identificaron 20 cruza dobles con rendimientos mayores que el híbrido HB-85 con rendimientos de

6.76 a 6.96 ton/ha con una heterosis mayor que el testigo de 11 a 15 por ciento.

REFERENCIAS

- Brauer, H.O. 1980. Fitogenética aplicada, Ed. Limusa, México, Cap. 18.
- Crossa, J., et al. 1990. Combining ability estimates of CIMMYTS tropical late yellow maize germplasm. *Maydica* 35:275-278.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. Journ of Biol. Science* 9:463-493.
- Hayman, B.I. 1954. The theory and analysis of diallel cross. *Genetics*, 39:789-809.
- Jenkings, M.T. 1934. Methods of estimating the performance of double crosses in corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 23:199-204.
- Martínez, G.A. 1975. Diseño y análisis de los experimentos de cruza dialélicas, Chapingo, México. p 30-45.
- Poey, F., et al. 1977. Conceptos teóricos que respaldan los programas de mejoramiento genético de maíz, ICTA, Guatemala. 90 p.
- Vassal, S.K., et al. 1992b. Heterosis and combining ability of CIMMYTS tropical late with maize germplasm. *Maydica* 37:217-223.

Evaluación de Cruces Dialélicos y Estimación de Aptitud Combinatoria de Diez Líneas de Maíz de Grano Amarillo

S. Castellanos¹, J.L. Quemé², M. Fuentes², L. Larios² y C. Pérez²

RESUMEN

Como parte de los esquemas de desarrollo de híbridos dentro del Programa Regional de Maíz, las líneas endogámicas que se identifican como superiores se evalúan en cruces dialélicos para determinar su mérito relativo en la formación de híbridos. El objetivo de este estudio fue evaluar cruces dialélicos de 10 líneas elite de grano amarillo, así como determinar su aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE). Las líneas provenían de los programas nacionales de maíz de la región, los proyectos colaborativos y del programa de híbridos de CIMMYT. Se establecieron ensayos con 42 tratamientos (38 cruces y 4 testigos) en un diseño látice simple de 6x7 a través de 4 localidades en Centro América. Se identificaron líneas promisorias procedentes en su mayoría de las Poblaciones 24, 27 y 36, como las líneas 1404 y 1409 del PRM, que deberían entrara a formar parte de las líneas elite del PRM. Se identificaron además cruces simples que superan en rendimiento al mejor testigo, el Exp.9110, hasta en 20%, y se estimó la predicción de 4 híbridos experimentales que superan teóricamente hasta en 13% al testigo. Se sugiere evaluar estas cruces en ensayos regionales para verificar los resultados.

La producción de híbridos en base a líneas con alto nivel de endocria es considerada una de las mejores alternativas para aquellas áreas que presentan condiciones ambientales y posibilidades de manejo favorables. Híbridos convencionales de líneas endocriadas es la forma más eficiente de explotar la heterosis, en el cual se expresa un incremento de rendimiento en la generación F_1 de la cruce entre líneas elite que tengan buena aptitud combinatoria sobre los materiales parentales. Cultivares híbridos de cruces simples no son por ahora una buena alternativa para la mayoría de áreas maiceras de Centro América y El Caribe, ya que las condiciones de producción, comercialización y el tipo de agricultor usuario impiden poder absorber el alto precio de venta de la semilla certificada de estos cultivares. Para estas condiciones, el desarrollo de cultivares híbridos triples y/o dobles son la alternativa más accesible, y es la estrategia enfatizada por el Programa Regional de Maíz (PRM).

Las series dialélicas de cruces son utilizadas en pruebas replicadas para determinar el mérito relativo de las líneas parentales en cruces (Hallauer *et al.*, 1988). Citando a Schull (1909), "el objetivo del mejorador de maíz no debe ser encontrar la mejor línea pura, sino que encontrar y mantener la mejor combinación híbrida". Algunos investigadores han planteado que es de esperar que los híbridos dobles sean más estables que las cruces simples a través de una serie de ambientes, debido a una mayor homeostasis genética o amortiguamiento poblacional dado que ellos son genéticamente más heterogéneos (Lerner, 1958; Allard y Bradshaw, 1964). El objetivo principal de desarrollar líneas para hibridación con un alto nivel de endocria, es obtener genotipos cuya integridad genética pueda ser mantenida sin cambios durante las generaciones de reproducción (Hallauer y Miranda, 1988). Las pruebas de dialélicos de cruces simples proveen información sobre la aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas y aptitud combinatoria específica (ACE) de la líneas parentales para cruces específicos (Sprague y Tatum, 1942).

El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial de rendimiento de los cruces dialélicos y estimar aptitud combinatoria de 10 líneas elite del PRM de grano amarillo para generar información que sirva de base para la predicción de cruces híbridos experimentales, triples y dobles, de alto potencial de rendimiento.

MATERIALES Y METODOS

Las 10 líneas de grano amarillo que se involucraron en los cruces dialélicos de este estudio fueron adquiridas con endogamia parcial del Programa de híbridos del CIMMYT, y luego fueron seleccionadas y avanzadas por el proyecto de híbridos del PRM en Guatemala. Con estas 10 líneas se lograron formar 38 cruces de los 45 posibles. Se incluyeron 4 testigos de referencia para un total de 42 tratamientos evaluados, lo que indica que no se conformo un dialélico completo por haber fallado 7 cruces que fue imposible realizar por razones de no coincidencia en floración de las líneas. Todas las líneas y sus cruces fueron incrementadas en Cuyuta, durante el ciclo A de 1992. La descripción de la líneas y testigos involucrados es la siguiente:

¹Coordinador Programa de Maíz ICTA; ²Técnicos Programa de Maíz, ICTA, Guatemala.

Origen	Genealogía
1401	Pob 27C5HC1-1-3-ⓐ#-8-4-3-3-ⓐ#
1402	Pob 36C5HC279-1-1-ⓐ#-2-1-3-1-ⓐ#
1403	Pob 27C5HC1-1-3-ⓐ#-11-1-ⓐ#-ⓐ#
1404	Pob 24C5HC219-1-1-ⓐ#-5-2-ⓐ#-ⓐ#
1405	Pob 27(STE)C1HC3-4-1-2-2-1-ⓐ#
1406	Pob 27C5HC71-3-1-ⓐ#-#-9-2-1-ⓐ#-ⓐ#
1407	Pob 27C2HC71-3-1-ⓐ#-#-9-1-3-1-ⓐ#
1409	Pob 24C5HC34-2-3-ⓐ#-7-2-ⓐ#-ⓐ#
1411	Pool 26TSR31-ⓐ#-9-1-1-2-1-#
1412	Pob 36C5HC144-2-2-ⓐ#-4-1-2-2-ⓐ#-ⓐ#
	Testigos
ICTA A-6	GA-32 X 1412 (Cuy. 92A)
ICTA HA-46	ICTA Exp. 9110

Los 42 tratamientos conformaron ensayos uniformes en un diseño de látice rectangular simple 6x7 con 4 repeticiones. La parcela experimental utilizada fue de 2 surcos de 5.5 m de largo, 0.75 m entre surco y posturas de 2 plantas separadas cada 0.5 m, lo que representa una densidad de población de 53,333 pl/ha. Se establecieron ensayos en las localidades de Cuyuta y La Máquina en Guatemala, Panamá y República Dominicana durante el ciclo de lluvias de 1992. Las labores culturales de manejo de los experimentos dependió de las necesidades y recomendaciones de investigación de cada localidad. De la evaluación se obtuvieron datos de rendimiento de grano y de características agronómicas, tales como: altura de planta y mazorca, % de mazorcas con mala cobertura, % de mazorcas podridas (*Fusarium* y *Diplodia sp*), % de acame y síntomas de achaparramiento causado por *Spiroplasma sp*. Con la información de rendimiento de grano al 15% de humedad se realizó el análisis de varianza individual y combinado. Además se calcularon estimaciones de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de las líneas y cruzas involucradas, donde: ACG es la media de las cruzas de una línea media general de todas las cruzas y ACE es el rendimiento de una cruz media general de todas las cruzas-ACG de un padre-ACG del otro padre de la cruz. Finalmente se realizaron predicciones de híbridos dobles y triples en base a la fórmula de predicciones de Jenkins (Hallauer y Miranda, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los cuadrados medios por localidad y combinado obtenidos en el análisis de varianza. Para la fuente de variación de tratamientos se obtuvieron diferencias altamente

significativas tanto para las localidades individuales como para el combinado. Así también la interacción localidades x tratamientos mostró alta significancia, lo que infiere que las cruzas evaluadas muestran comportamiento contrastante a través de localidades. Los CVs obtenidos son aceptables para confiar en las inferencias que puedan hacerse con la información obtenida. El cuadrado medio de localidades, 197.28, infiere que el mayor porcentaje de la variación esta explicado por el efecto de localidades. En base a la media de los 4 experimentos, se observa que las localidades de Cuyuta y República Dominicana expresaron el mayor potencial en rendimiento, siendo este considerablemente superior a las otras 2 localidades.

En el Cuadro 2 se muestran las estimaciones de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE). Las líneas 1409, 1404, 1402 y 1411 obtuvieron estimaciones positivas de ACG equivalentes a 0.63, 0.48, 0.17 y 0.06 t/ha, respectivamente, siendo las estimaciones negativas para las otras líneas. Los cruces 1406 x 1409, 1401 x 1405, 1403 x 1409, 1406 x 1412 y 1401 x 1404 obtuvieron las estimaciones mas altas de ACE con 0.82, 0.64, 0.54, 0.51 y 0.47 t/ha, respectivamente, lo que hace inferir que se identificaron cruzas entre líneas bastante divergentes genéticamente que expresan valores de heterosis considerable que puede ser explotado en hibridación. Dentro de las líneas involucradas en las 5 cruzas superiores en ACE, únicamente las líneas 1403 y 1409 mostraron valores positivos de ACG, mientras que la mayoría de las otras líneas involucradas expresaron estimados negativos de ACG.

El Cuadro 3 presenta el rendimiento expresado por los 10 cruces simples superiores, tanto por localidad como ombinado. El rango en porcentaje de rendimiento de estas cruzas estuvo entre 6 y 20% respecto al mejor testigo, Exp. 9110, con 4.80 t/ha.

Cuadro 1. Cuadrados medios de la evaluación de cruzas dialélicas entre 10 líneas conducida en cuatro localidades, 1992.

F.V.	Cuyuta	L.Maq.	Pan.	R.Dom	Comb.
Loc.					197.28**
Trat.	3.69**	2.66**	2.01**	2.97**	7.92**
Loc x Trat					1.28**
Error	0.23	0.36	0.50	0.81	0.49
C.V. (%)	8.3	15.5	20.1	18.0	

Cuadro 2. Aptitud combinatoria general (ACG) y específicas (ACE) de 10 líneas de maíz de grano amarillo evaluadas en cruces dialélicas en 4 localidades, 1992.

Línea	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1409	1411	1412	Media	ACG
1401	0.03	-2.00	0.47	0.64	-	-	-0.12	0.04	-0.13	4.44	-0.12
1402		0.17	-0.02	0.19	0.17	0.47	0.05	-0.46	-0.43	4.74	0.16
1403			0.29	-0.15	-	-	0.54	0.09	0.09	4.57	-0.00
1404				-0.22	-	0.29	-0.98	-0.02	-	5.05	0.48
1405					-0.55	-0.77	0.36	0.23	-	4.39	-0.17
1406						-1.53	0.82	0.34	0.51	3.97	-0.60
1407							0.37	0.32	0.36	4.21	-0.35
1409								-0.36	-0.04	5.20	0.63
1411									-0.13	4.63	0.06
1412										4.49	-0.08
										$\bar{X}=4.57$	$\Sigma=0.00$

En general las cruzas superiores en base al análisis combinado no fueron las mejores a nivel de localidad, reflejándolo el análisis de varianza que mostró una interacción significativa de localidades x tratamientos. Al analizar el origen de las líneas que conforman las 10 cruzas superiores, se observó que el patrón heterótico prevaeciente fueron líneas derivadas de la Pob.27 por líneas de la Pob.24, por lo que dicho patrón debiera de tomarse en cuenta para proyectos de hibridación con adaptación a áreas de condiciones ambientales similares.

De igual forma se puede observar que en las 10 cruzas superiores participaron todas las líneas involucradas. También se observa que en estas cruzas nunca se involucraron dos líneas derivadas de la misma población, lo que puede inferir que la probabilidad es baja de encontrar cruzas emparentadas de buen potencial. Este tipo de interpretaciones nos lleva a la reflexión de poner mayor atención en el concepto de patrones heteróticos superiores cuando se estructuren este tipo de estudios, lo que nos simplificaría el trabajo y posiblemente nos aumentaría la eficiencia al evitar la evaluación de cruces que tienen bajas posibilidades de éxito.

En el Cuadro 4 se observan los 4 mejores híbridos predichos en base a la información obtenida de la evaluación de los cruces dialélicos. Estos híbridos predichos experimentales superan en teoría al mejor testigo, Exp. 9110, en un rango de 13 a 10% en rendimiento.

Los cuatro híbridos experimentales están conformados como híbridos dobles, observándose que a diferencia de las 10 cruzas simples superiores descritas en el Cuadro 3, en estos híbridos sí aparecen involucradas 4 cruzas simples derivadas de la misma población, lo que podría tomarse en cuenta para decidir que cruce simple estaría participando como hembra en la producción de semilla.

En este Cuadro se presentan únicamente los 4 mejores híbridos predichos, sin embargo se estarán prediciendo al menos los mejores 12 ó 15, para luego determinar su potencial real a través de evaluaciones extensivas en varios ambientes de Centro América y El Caribe, donde el PRM tiene su área de influencia.

CONCLUSIONES

1. Se identificaron líneas como la 1409 y 1404 que expresaron estimados considerables de ACG (0.63 y 0.48 t/ha), por lo que debieran considerarse como gemoplasma élite del PRM, e involucrarse tanto en la predicción de híbridos basados en este estudio, como en cruces con otras líneas élite que el Proyecto ha desarrollado.
2. Se identificaron cruces simples con estimados considerables de ACE, los cuales podrían considerarse en cruces dirigidos con otras líneas o pedigrees del proyecto.

Cuadro 3. Rendimiento (t/ha) de cruzas simples superiores en la evaluación de dialélicos entre 10 líneas de maíz de grano amarillo en cuatro localidades, 1992.

Cruza (CUY 92A)	Cuyuta	LMaq	Panamá	RDom.	Combi. Media	Tukey (1%)	% Exp. 9110
1403 X 1409	6.83	4.88	4.57	6.69	5.74	A	120
1402 X 1409	6.13	3.84	4.33	7.39	5.42	A	113
1406 X 1409	6.26	4.42	3.74	7.25	5.42	A	113
1401 X 1404	6.64	4.92	3.84	6.19	5.40	A	112
1405 X 1409	6.16	4.73	2.93	7.71	5.38	A	112
1403 X 1404	6.76	4.84	4.10	5.67	5.34	A	111
1407 X 1409	6.56	3.89	3.48	6.93	5.22	A	109
1402 X 1404	6.30	4.70	3.07	6.72	5.20	A	108
1404 X 1411	6.76	4.92	3.77	4.89	5.09	A	106
1409 X 1412	5.90	4.27	4.07	6.07	5.08	A	106
ICTA Exp. 9110	4.91	4.17	3.75	6.36	4.80	A	
ICTA HA-46	4.99	3.60	3.44	4.50	4.13	E	
ICTA A-6	5.48	3.42	2.47	4.67	4.01	E	
GA-32 X 1412	4.33	2.66	2.99	3.13	3.28	E	
\bar{X} 10 cruzas superiores	6.43	4.54	3.79	6.55	5.33		
\bar{X} experimento	5.55	3.77	3.33	5.53	4.55		

Cuadro 4. Híbridos predichos superiores en base a la evaluación de cruces dialélicos de 10 líneas de maíz de grano amarillo en cuatro localidades, 1992.

Híbrido	Predicción Rend. t/ha	% Exp. 9110
(1404 X 1409) (1403 X 1402)	5.429	113
(1401 X 1403) (1404 X 1409)	5.361	112
(1403 X 1405) (1404 X 1409)	5.285	110
(1404 X 1409) (1403 X 1411)	5.270	110
\bar{X} 10 CRUZAS SUP.	5.332	
ICTA EXP. 9110	4.803	
ICTA HA-46	4.136	
ICTA A-6	4.014	

3. Se identificaron 10 cruzas simples que superan en rendimientos al mejor testigo, Exp. 9110, en hasta 20%, lo que plantea alternativas de identificar híbridos promisorios de alto potencial de rendimiento, mejores que los cultivares comerciales actuales.

4. Se estimó la predicción de 4 híbridos experimentales que superan teóricamente al mejor testigo, Exp. 9110, en hasta 13%, siendo el promedio de rendimiento de estos híbridos de 5.34 t/ha y el del Exp. 9110 de 4.80 t/ha.

REFERENCIAS

- Allard, R. W. and A.D. Bradshaw. 1964. Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. *Crop Sci*: 4:503-508.
- Hallauer, A.R. and J.B. Miranda Fo. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2 ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Hallauer, A.R., W.A. Russell and K.R. Lamkey. 1988. Corn Breeding. p. 463-563, In: G.F. Sprague and J.W. Dudley (eds). *Corn and Corn improvement*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Lerner, I. 1958. *The genetic basis of selección*. John Wiley and Sons, New York.
- Shull, G.H. 1909. A pure-line method in corn breeding. *Am. Breeder's Assoc. Rep.* 5:51-59.
- Sprague, G. F. and L.A. Tatum. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923-932.

Selección de Líneas de Grano Blanco de Maíz (*Zea mays* L.) a través de Seis Localidades en Centro América, 1992

J.L. Quemé¹, C. Pérez¹, L. Larios¹, M. Fuentes¹ y S. Castellanos²

RESUMEN

Como parte de los esquemas de desarrollo de híbridos dentro del Programa Regional de Maíz, constantemente se evalúan líneas endogámicas para determinar su adaptación en diversos ambientes de Centro América y potencial de ser utilizadas en los programas de hibridación. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento agronómico de 144 líneas de grano blanco de maíz con diferentes niveles de endogamia y origen a través de 6 ambientes de Centro América bajo distintos estreses ambientales y condiciones. Las líneas provenían de los programas nacionales de maíz de la región, los proyectos colaborativos y del programa de híbridos de CIMMYT. Se identificaron 42 líneas promisorias procedentes en su mayoría de las Poblaciones 73 (con tolerancia al achaparramiento), 21 (base del Tuxpeño Sequía C6 x BS19 e ICTA B1), Pool Diplodia (para resistencia a pudrición de mazorca), así como líneas elite de CIMMYT (CML). La selección se basó en rendimiento, pudrición y cobertura de mazorca, acame, altura de planta y mazorca, así como los días a floración considerando la posibilidad de formación de cruza. Estas líneas superiores se evaluarán en combinación con distintos probadores y en dialelos para evaluar su aptitud combinatoria y uso potencial en los programas de hibridación de grano amarillo de la región.

En la generación de híbridos de maíz, los progenitores desempeñan un papel importante. El valor de los progenitores puede estar definido en cierta medida por su aptitud combinatoria, así también como por su comportamiento *per se* a través de diferentes ambientes. Esto nos permite identificar progenitores con buen rendimiento, estabilidad y con característica agronómicas deseables, como el acame, la cobertura y pudrición de mazorca, lo cual influye no sólo en la generación de los híbridos, sino también en la producción de la semilla, principalmente cuando en dichos ambientes se está interesado en la formación de los híbridos.

El Programa Regional de Maíz (PRM) concentra parte de sus actividades en la generación de híbridos de maíz. El objetivo general del proyecto es desarrollar híbridos de maíz de grano blanco, con alto potencial de

rendimiento, buenas características agronómicas y con adaptación a la zona maicera de Centro América y El Caribe. Dentro del PRM, el liderazgo de la generación de híbridos está a cargo del Programa de Maíz del ICTA.

Tanto en ICTA, los programas nacionales de maíz que conforman el PRM, así como en CIMMYT, existen diversos grupos de líneas endogámicas que no se les conoce su comportamiento en los diferentes ambientes de influencia del PRM. Por tanto, el objetivo de la presente investigación es evaluar el comportamiento *per se* de 144 líneas elite de grano blanco en seis diferentes ambientes de Centro América. Los objetivos específicos son determinar la estabilidad y potencial de rendimiento, tolerancia a enfermedades foliares, pudrición de mazorca, días a floración y otras características agronómicas de interés para seleccionar las líneas superiores, para que pasen a formar parte de híbridos ya existentes, o para generar nuevos híbridos.

MATERIALES Y METODOS

El material genético estuvo constituido por 144 líneas que el Programa de Maíz del ICTA ha venido desarrollando a través del PRM, y líneas provenientes de CIMMYT. Las 144 líneas se agruparon en 11 grupos de acuerdo a la procedencia de las líneas, dichos grupos se describen a continuación:

- 1) 20 líneas de la población SR-8073.
- 2) 11 líneas de H-233.
- 3) 11 líneas de La Posta Sequía.
- 4) 15 líneas de la Pob 73 (PRM)
- 5) 1 línea de Pob 21C5HC205.
- 6) 8 líneas del Pool 23TSR-15
- 7) 6 líneas de 29-244 x 28
- 8) 6 líneas del Pool 23 y Pool 24 x HFD (Cogollero)
- 9) 18 líneas de Pool Diplodia C.
- 10) 32 líneas elite de CIMMYT (CML).
- 11) 5 líneas testigos.

La evaluación se realizó en el período de lluvias (ciclo B) de 1992. Se establecieron 6 ensayos: San Jerónimo, Cuyuta y La Máquina (Guatemala); San Andrés (El Salvador), San Cristóbal (Nicaragua) y

¹Investigadores del Programa de Maíz, ICTA; ²Coordinador del Programa de Maíz, ICTA.

Fabio Beaudrit (Costa Rica). Todas estas son estaciones experimentales normalmente usadas por los programas nacionales de maíz. Se usó un diseño experimental de látice simple 12x12 (144 entradas) con 2 repeticiones por localidad. La unidad experimental estuvo constituida por 1 surco de 5 m de largo, tratando de obtener una densidad de población teórica de 53,333 pl/ha. Se registró el peso de campo de las mazorcas, el porcentaje de humedad del grano, los días a floración masculina y femenina, la altura de planta y de mazorca, el acame de raíz y tallo, el porcentaje de mazorcas descubiertas y podridas, calificación de enfermedades foliares, y componentes de rendimiento estándar. El rendimiento se ajustó al 15% de humedad.

Se procedió a hacer el análisis bajo un diseño de bloques completos al azar, realizando un análisis de covarianza, donde se tomó como variable el rendimiento y como covariable el número de plantas cosechadas. Los análisis de varianza se realizaron por localidad y a través de localidades, finalmente, para medir la interacción genotipo ambiente se utilizó el modelo AMMI (Crossa *et al.*, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSION

Para las localidades de San Jerónimo, Cuyuta y La Máquina, el número de plantas cosechadas influyó significativamente sobre el rendimiento de grano, por lo tanto, el rendimiento fue ajustado de acuerdo al análisis de covarianza, pero este análisis no se realizó para la localidad F. Baudrit. Para este escrito no se tomaron en cuenta los resultados de El Salvador y Nicaragua, ya que los ensayos fueron afectados por el ambiente y los datos mostraron demasiada variación y pérdida de plantas.

Según el análisis de varianza en las cuatro localidades y a través de ellas existió alta significancia para las fuentes de variación líneas y líneas x ambientes, lo que indica que, por lo menos, una de las 144 líneas fue diferente a las demás y que éstas fueron influenciadas de manera diferente por el efecto ambiental. Los rendimientos promedios para San Jerónimo, Cuyuta, F. Baudrit y La Máquina fueron de 2.46, 1.78, 1.31 y 0.37 t/ha, respectivamente. Se observó también pudriciones de mazorca de 20, 22, 4 y 21%, respectivamente. En cuanto al porcentaje de plantas afectadas con virus fue la localidad de La Máquina que presentó daño significativo con una media de 36%.

Los seis grupos que ocupan los primeros lugares en cada localidad y a través de localidades fueron:

Pob21C5H205, grupo testigo, Pool Diplodia C, Pob. 73 (PRM), líneas élite del CIMMYT (CML) y Santa Rosa 8073, con rendimientos de grano limpio que oscilaron de 1.30 a 1.50 t/ha. De estos seis grupos y el grupo H-233 se seleccionaron 42 líneas superiores a las cuales se le determinará posteriormente su aptitud combinatoria general (ACG). De todos los grupos, el peor fueron las líneas de La Posta Sequía (0.70 t/ha).

En el análisis AMMI, el primer eje de interacción (PCA1) captó el 69% de la suma de cuadrados de la interacción localidades x líneas, también se obtuvieron las puntuaciones AMMI para las 144 líneas evaluadas, seleccionando aquellas con valores cercanos a cero, ya que éstas se consideran de baja interacción con el ambiente (Figura 1). En el Cuadro 1 se conjunta el rendimiento, características agronómicas y puntuaciones AMMI de las 12 mejores líneas, también se incluyen las medias de las 42 líneas seleccionadas y de la población (144 líneas).

Además, se identificaron 10 líneas procedentes del CIMMYT (Cuadro 2) las cuales su valorización es completa, ya que tienen buen comportamiento per se, valores AMMI cercanos a cero y con buena ACG esta última característica es información del CIMMYT (Vasal *et al.*, 1992).

En el cuadro 3 de describen las genealogías de las 42 líneas seleccionadas de acuerdo al rendimiento, características agronómicas y con poca interacción con los ambientes.

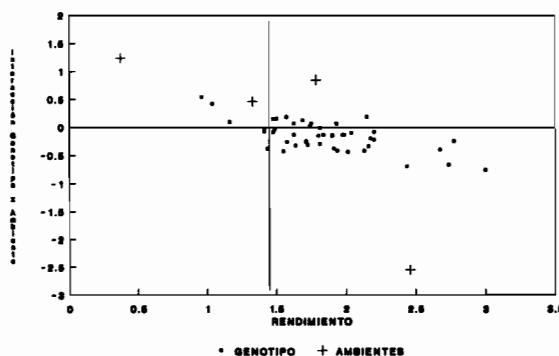


Figura 1. Medias de rendimiento y valores del primer eje de interacción (PCA1) de 42 líneas de maíz de grano blanco, 1992.

Cuadro 1. Medias de rendimiento y características agronómicas de interés de la fracción superior de 144 líneas de grano blanco evaluadas en cuatro localidades de Centro América, 1992.

Entrada	Rend.	Días	Altura		% Mazorcas		AMMI
		Flor.	Planta	Mazorca	Desc.	Podrs.	
1	2.195	62	155	77	7	11	-0.22
12	1.611	60	144	68	2	5	0.07
14	1.808	61	145	66	2	10	-0.03
15	2.202	61	154	75	1	10	-0.08
21	1.999	62	173	82	2	7	-0.13
22	1.827	62	185	88	0	8	-0.13
46	2.157	62	179	86	2	11	-0.20
107	2.743	56	186	88	9	10	-0.66
108	1.924	63	158	76	10	14	-0.41
120	2.017	61	175	91	7	5	-0.10
136	2.007	64	162	81	2	17	-0.43
144	2.982	62	164	73	2	8	-0.75
Media 12	2.123	61	165	79	4	10	
Media 42	1.905	62	160	77	4	13	
Media 144	1.480	62	155	74	7	17	

Cuadro 2. Líneas superiores por su comportamiento *per se* y por su aptitud combinatoria general (ACG).

Línea	Rend. t/ha	Valor AMMI	** ACG
CML 1	1.92	-0.41	Alta
CML 8	1.91	-0.37	Alta
CML 16	2.01	-0.10	Alta
CML 24	1.71	-0.32	Alta
CML 34	2.43	-0.70	Media
CML 37	1.74	0.02	Media
CML 38	1.72	-0.25	Alta
CML 45	1.39	-0.03	Alta
CML 47	1.55	-0.42	Media
CML 48	2.00	-0.43	Alta

El rendimiento es promedio de las cuatro localidades.

** Información del CIMMYT.

Cuadro 3. Genealogía de las 42 líneas de grano blanco seleccionadas según la evaluación a través de cuatro ambientes de Centro América 1992.

Ent	Genealogía
1	SR-8073 12 A-1-1 (W) -3176 -1-4-1-1-⊗b
2	SR-8073 12 A-1-1 (W) -3176 -1-4-1-2-⊗b
3	SR-8073 12 A-1-1 (W) -3176 -1-4-1-4-⊗b
5	SR-8073 12 A-1-1 (W) -3176 -1-5-1-1-⊗b
7	SR-8073 12 A-1-1 (W) -3176 -1-5-1-3-⊗b
12	SR-8073 12 A-1-1 (W) -3176-1-5-5-1-⊗b
13	SR-8073 12 A-1-1 (W) -3176-1-5-5-2-⊗b
14	SR-8073 12 A-1-1 (W) -3176-1-5-5-3-⊗b
15	SR-8073 12 A-1-1 (W) -3176-1-5-5-4-⊗b
17	SR-8073 12 A-1-1 (W) -3176-1-5-5-6-⊗b
20	SR-8073 12 A-1-1 (W) -3176-2-5-2-2-⊗b
21	H233 -1-1-1-3-3-3731-1-5-2-1-⊗b
22	H233 -1-1-1-3-3-3731-1-5-2-7-⊗b
33	La Posta Sequía COS3-12-1-4-1-⊗b-⊗b
38	La Posta Sequía COS3-12-4-1-1-2-⊗b
43	(Pob 73) 46-2-1-2-⊗b
45	(Pob 73) 46-2-4-1-⊗b
46	(Pob 73) 46-2-4-3-⊗b
47	(Pob 73) 46-6-3-3-⊗b
51	(Pob 73) 132-1-1-1-⊗b

Continuación Cuadro 3.

53	(Pob 73) 133-2-1-1-⊗b
58	P4 Pob21 C5 HC 205-1-1-⊗b-###-3-1-⊗b
59	P4 Pob21 C5 HC 205-1-1-⊗b-###-3-2-⊗b
61	P4 Pob21 C5 HC 205-1-1-⊗b-###-5-1-⊗b
62	P4 Pob21 C5 HC 205-1-1-⊗b-###-5-3-⊗b
64	P4 Pob21 C5 HC 205-1-1-⊗b-###-5-5-⊗b
66	P4 Pob21 C5 HC 205-1-1-⊗b-###-7-3-⊗b
67	P4 Pob21 C5 HC 205-1-1-⊗b-###-8-3-⊗b
91	Pool Diplodia C (Fam 10)-1-⊗b
106	Pool Diplodia C (Fam 187)-3-⊗b
107	Pool Diplodia C (Fam 212)-1-⊗b
108	CML1=Pob 21 C5 HC57-1-2-B-##-⊗b
113	CML8=Pob 21 C5 HC218-2-3-B-####-⊗b
120	CML16=Pob 22 HC100 (S2)-2O-3-BBB-⊗b
123	CML24=Pob 25 CO HC128-2-1-B-###-⊗b
124	CML34=Pob 29 C5 HC172-1-1-B-#-B-⊗b
127	CML37=Pob 32 C4 HC128-1-1-B-#-5-⊗b
128	CML38=Pob 32 C4 HC142-1-1-B-###-⊗b
135	CML47=Pob 43 C6 HC133-1-5-1-BBB-⊗b
136	CML48=Pob 73 PORRILLO 8073-11-1-1-##-⊗b
141	Pob49 (STE) C5 HC10-2-1-3-1-3-⊗b-#
144	Pob21 vC5 HC205-1-1-ob#-4-4-⊗ob-⊗ob-#-#

CONCLUSIONES

1. De las 144 líneas evaluadas se seleccionaron 42, las cuales presentan buen rendimiento, poca interacción con el ambiente, adecuadas características agronómicas y con cierta resistencia a pudrición de mazorca.
2. Se identificaron 10 líneas procedentes del CIMMYT (CML), las cuales tienen buen comportamiento per-se y buena ACG, con las cuales se pueden obtener híbridos superiores a corto plazo.

REFERENCIAS

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.

Vasal, S.K., F. González, G. Srinivason y N. Vergara. 1992. Estrategias para integrar mejoramiento poblacional con desarrollo de híbridos en el germoplasma tropical de CIMMYT, El Batán, México.

Evaluación de Líneas de Maíz de Grano Amarillo en Seis Ambientes de Centro América, 1992

C. Pérez, L. Larios, J.L. Quemé, M. Fuentes y S. Castellanos¹

RESUMEN

Como parte de los esquemas de desarrollo de híbridos dentro del Programa Regional de Maíz, constantemente se evalúan líneas endogámicas para determinar su adaptación en diversos ambientes de Centro América. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento agronómico de 81 líneas de grano amarillo de maíz con diferentes nivel de endogamia y origen a través de 6 ambientes de Centro América bajo distintos estreses ambientales y condiciones. Las líneas provenían de los programas nacionales de maíz de la región, los proyectos colaborativos y del programa de híbridos de CIMMYT. Se identificaron 6 líneas promisorias procedentes en su mayoría de las Poblaciones 24, 26 y 36 de CIMMYT, y otras de Cuba y Guatemala. La selección se basó en rendimiento, pudrición y cobertura de mazorca, acame, altura de planta y mazorca, así como los días a floración considerando la posibilidad de formación de cruas. Estas líneas superiores se evaluarán en combinación con distintos probadores y en dialelos para evaluar su aptitud combinatoria y uso potencial en los programas de hibridación de grano amarillo de la región.

En la formación de híbridos de maíz los progenitores son de vital importancia, tanto por su comportamiento *per se* en diferentes ambientes así como por su aptitud combinatoria, lo que nos permite conocer e identificar progenitores con características deseables lo cual es imperante para tener la certeza de formar híbridos y producir semilla. El Programa de Maíz de ICTA, como líder dentro del proyecto de híbridos del Programa Regional de Maíz (PRM), tiene la responsabilidad de evaluar el comportamiento en diferentes ambientes de Centro América de líneas endogámicas de posible uso por el PRM.

El objetivo del presente estudio es determinar el potencial de rendimiento y características agronómicas *per se* de 81 líneas de grano amarillo de diverso nivel de endogamia y origen bajo un rango de ambientes de la región de Centro América. Todos los ensayos se establecieron en la época de lluvia.

METODOLOGIA

El material genético está constituido por 81 líneas amarillas de diferente origen y en diferente grado de endogamia, desarrolladas a través del Proyecto Regional de Híbridos del PRM y/o CIMMYT. Todas las evaluaciones se realizaron en la época de lluvias en las estaciones experimentales de Cuyuta y La Máquina en Guatemala (2), Panamá (1), República Dominicana (1), Cuba (1), Costa Rica (1) y Haití (1). Se utilizó un diseño de látice simple 9 x 9 (81 tratamientos) con 2 repeticiones en parcelas de 1 surco de 5 m de largo a distancias que permitieran una densidad de población de 53,333 pl/ha según la distancia entre surcos de cada localidad. Se sembró una planta por golpe. Los ensayos recibieron fertilización adecuada según las recomendaciones de cada localidad, la semilla recibiendo tratamiento contra las plagas del suelo para mantener la densidad teórica del ensayo. En cada parcela se registró los días a floración, altura de planta y mazorca, acame de raíz y tallo, y los componentes de rendimiento estándares, como peso de campo de las mazorcas, humedad del grano, y el porcentaje de mazorca descubiertas, pudrición de mazorca y prolificidad.

A pesar de usar un diseño de látice simple de 9x9, el análisis de varianza se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar debido a que algunas entradas no germinaron. Se hizo análisis de varianza por localidad individualmente y combinado para la variable rendimiento y se tabularon las medias de las características agronómicas, para hacer seleccionar las mejores líneas. Se usó el índice de selección desarrollado por Barreto *et al.* (1990) para la selección de las líneas superiores.

RESULTADOS

En los análisis de varianza por localidad las líneas fueron altamente significativas, también a nivel de análisis combinado respecto a la variable rendimiento de grano. El Cuadro 1 presenta la genealogía de las líneas superiores identificadas para distintas características agronómicas y rendimiento.

¹Investigadores Programa de Maíz, ICTA, Guatemala.

Cuadro 1. Genealogía de las líneas identificadas como superiores que aparecen en los cuadros restantes del trabajo.

Ent	Genealogía
6	LyDRM Pool C4-HS b-4-xb
7	NS-1-1-xb
55	Pob. 36 C5 HC144-2-2-xb-#-1-2-3-xb
61	CML21 = Pob.24 C5 HC227-1-2-1-1-2-2-##-xb
62	CML25 = Pob. 26 C5 HC37-1-4-b-#-5-b-xb
68	CML40 = Pob. 36 C5 HC144-2-2-b-###-xb
69	CML41 = Pob. 36 C5 HC223 -1-1-2-3-#-1-1-##-xb
74	CT-33N-#
77	CT-88N-#

Cuadro 2. Medias de rendimiento y características agronómicas de las líneas superiores de maíz de grano amarillo evaluados en los diferentes ambientes.

Trat	Rend t/ha	DFP	Alt Pta	Alt Mz	%Mz Desc	%Mz Pod	%. Prol
Cuyuta							
77	3.87	59	210	120	18	16	86
68	3.49	56	185	95	13	16	133
6	3.46	56	180	87	0	14	110
61	3.45	57	170	83	2	12	112
7	2.95	56	165	80	17	24	95
La Máquina							
7	1.75	54	170	175	0	29	81
6	1.66	55	143	73	13	17	89
68	1.49	54	155	70	5	8	106
69	1.48	55	150	80	0	22	93
62	1.38	56	165	83	3	0	89
Panamá							
74	1.95	56	180	78	0	7	76
77	1.95	57	173	88	16	30	88
55	1.77	58	150	70	4	10	109
61	1.75	57	148	55	5	28	110
6	1.71	54	130	58	7	45	93
Combinado							
77	2.30	59	180	103	17	20	79
6	2.27	55	163	75	2	27	100
68	2.18	55	160	75	10	16	116
7	2.12	55	146	70	18	28	95
61	2.09	57	155	100	7	16	93
74	2.01	57	209	100	1	4	67

Los rendimientos variaron en cada ambiente, siendo la localidad de Cuyuta (Cuadro 2) donde las líneas expresaron los mayores rendimientos que van de 2.96 a 3.87 t/ha. La Máquina y Panamá presentaron rendimientos promedios similares con un rango de 1.66 a 1.95 t/ha. El Cuadro 2 también presenta el rendimiento promedio y características agronómicas tomando las localidades de Cuyuta, La Máquina y Panamá a nivel combinado.

Las mejores líneas fueron las entradas 77, 6, 68, 7, 61 y 74, y su genealogía se encuentra descrita en el Cuadro 1, con rendimientos de 2.01 a 2.30 t/ha. Además del rendimiento de grano se presentan las características agronómicas de las mejores líneas, las cuales se expresan en el siguiente rango: para porcentaje de mazorca descubierta va de 1 a 18%, para porcentaje de mazorcas podridas de 4 a 28% así como la expresión de prolificidad fue de 67 a 117%.

CONCLUSIONES

1. De las 81 líneas endogámicas de grano amarillo evaluadas se seleccionaron 6, las cuales en cada ambiente de estudio, presentaron rendimientos y características agronómicas deseables.
2. Las líneas seleccionadas presentaron buena estabilidad a través de los diferentes ambientes.
3. Se recomienda cruzar las líneas seleccionadas con probadores ya conocidos, para determinar su aptitud combinatoria general.

REFERENCIAS

Barreto, H.J., J. Bolaños y H.S. Córdova. 1991. Índice de selección. Guía para la operación del software. Manual de Capacitación Regional, CIMMYT, Guatemala, 27 p.

Selección para Tolerancia a Sequía en Tuxpeño C6 x BS-19 a través de Cuatro Niveles de Estrés en Centro América

L. Brizuela¹, J.L. Zea², A. Aguiluz³, T. Dubon⁵ y J. Bolaños⁵

RESUMEN

La sequía es un factor que limita la producción de maíz en el aréa de Centro América. El Programa Regional de Maíz (PRM) está mejorando germoplasma de maíz para mejor adaptación bajo condiciones de sequía. Durante el año de 1992, 225 líneas S₁ de la población Tuxpeño Sequía C6 x BS-19 fueron evaluadas bajo 4 niveles de estrés de sequía en El Salvador, Guatemala y Honduras. En El Salvador y Honduras las siembras fueron bajo condiciones de temporal en primera, pero en Guatemala las siembras fueron en noviembre bajo riego controlado bajo dos niveles de estrés, riego normal y sequía severa. Esta evaluación se completa el tercer ciclo de selección de la población por el sistema de selección recurrente. Se utilizó un diseño látice simple de 15x15 con dos repeticiones por localidad. En las cuatro localidades hubo alta diferencia significativa (P>0.01) con relación al análisis de varianza para rendimiento, días a floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca. En Choluteca el diferencial de selección para rendimiento expreso mayor diferencia con 0.36 t/ha entre la fracción seleccionada y la media de la población, luego en segundo lugar resultó la localidad de Zacapa con 0.26 t/ha para la fracción seleccionada bajo las condiciones de estrés. En condiciones óptimas de riego, en la localidad de Zacapa y condiciones de temporal en San Andrés, fue mínima la diferencia entre la fracción seleccionada y la media de la población (0.10 y 0.15 t/ha). Se seleccionaron 40 líneas, de acuerdo a un índice de selección en base a los cuatro niveles de estrés para continuar con el programa de mejoramiento. Así mismo seleccionaron las mejores 8 líneas para formar el tercer sintético del proyecto. Los resultados indican que se ha logrado un avance significativo en el mejoramiento para tolerancia a sequía en la población.

En el istmo Centroamericano la mayor parte de aréa destinada a la producción de maíz esta en condiciones adversas ya sea de suelo o de clima. Los rendimientos promedios en esas zonas marginales son bajos de 0.3 a 0.7 t/ha. El desarrollo de tecnologías como la labranza de conservación en esas áreas ha beneficiado, ya que se mantiene un mantillo superficial sobre el suelo aumentando la disponibilidad hídrica. Sin embargo el manejo agronómico únicamente es una parte de la alternativa para elevar la producción, ya que la parte complementaria es el material genético, que se

adapta a esas condiciones adversas. Las relaciones planta-agua de cualquier cultivo agrícola son bastante complicadas, involucran aspectos de fisiología vegetal, física de suelos, pero sin duda, dos son los factores más importantes para un crecimiento vegetal adecuado (Teare and Peat, 1983).

El PRM viene mejorando maíz para tolerancia a sequía desde hace varios años. El proyecto de sequía del PRM está ejecutando una serie de trabajos para que el pequeño agricultor de esas zonas marginadas disponga de un cultivar superior en cuanto a rendimiento bajo condiciones desfavorables en comparación con el que ha usado por muchas generaciones. Los logros del proyecto son evidentes en reportes de Brizuela *et al.* (1987), quienes evaluaron una serie de sintéticos los cuales superaron al testigo del agricultor en 37 y 13%, respectivamente en 17 localidades de Centro América. Zea *et al.* (1989) reportaron que en las evaluaciones de las líneas del proyecto se identificaron genotipos que únicamente perdían un 36% de rendimiento en condiciones de estrés al compararlos bajo condiciones óptimas. Brizuela *et al.* (1992) reportaron que la variedad sintético regional del último ciclo de selección superó al testigo en un 37% en seis localidades de Centro América.

Los objetivos de este estudio son seleccionar un 20% de las líneas de la Población Tuxpeño Selección Sequía X BS-19 para completar el tercer ciclo de selección y seleccionar el 2-3% de las líneas superiores en base a las tres localidades de Centro América y así poder formar un sintético experimental.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó en tres localidades de Centro América, San Andrés (El Salvador), Zacapa (Guatemala) y Choluteca (Honduras), se evaluaron 225 líneas S₁ de la población Tuxpeño Selección Sequía C6 x BS-19 en un diseño de látice simple 15x15 con dos repeticiones por localidad. La parcela experimental consistió de un surco de 5 m de largo con una parcela útil de 4.95 m², bajo una densidad de población de 53,000 pl/ha. En San Andrés y Choluteca la evaluación se realizó bajo condiciones de temporal con siembras

¹Coordinador del Programa de Maíz, S.R.N. Honduras, ²Técnico del Programa de Maíz, ICTA, Guatemala, ³Coordinador Programa de Maíz, CENTA, El Salvador, ⁴Técnico del Programa de Maíz, S.R.N., Honduras, ⁵Agrónomo Regional del CIMMYT, Guatemala.

de primera, sin embargo, en la localidad de Zacapa se evaluaron bajo condiciones óptimas de riego y bajo estrés con siembras fuera de época.

La siembra se realizó en una forma manual depositando 1 y 2 semilla alterna cada 0.25 m para luego a los 12 a 15 días se raleó dejando únicamente 22 plantas en cada surco; el control de malezas se hizo químicamente utilizando Gezaprin 80 + Prowl 500; en ciertas localidades se hizo uso de Volaton al 1% para el control de cogollero *Spodoptera frugiperda*. Al momento de floración se realizó una evaluación en las líneas, para identificar los mejores materiales en cuanto a la floración masculina y femenina. Al momento de la cosecha se hizo el conteo de plantas, mazorcas y el peso de campo en kg/parcela útil.

Se registraron días a flor masculina y femenina, altura de planta y mazorca (cm), acame de raíz y tallo (%), índice de sequía (1 - 5), mazorcas podridas, rendimiento t/ha. En cada variable registrada se realizó análisis de varianza por localidad, no se realizó ninguna transformación de la variable en donde se utilizó porcentajes. El análisis combinado se hizo a través de los cuatro ambientes de estrés y se ejecutó el índice de selección (Barreto *et al.*, 1990) para poder seleccionar las mejores 40 líneas, para continuar con el mejoramiento de la población y seleccionar las mejores 8 líneas para formar el tercer sintético del proyecto de sequía.

En San Andrés (El Salvador) y Choluteca (Honduras) el promedio de precipitación durante el ciclo del cultivo fue de 815 y 780 mm, respectivamente. En Zacapa (Guatemala) no hubo precipitación debido a que la siembra se hizo en época de verano (Noviembre-Marzo). La evaluación bajo estrés únicamente se le dió riego al momento de germinación y dos semanas después de floración, mientras que el vivero de riego normal recibió irrigación cada semana.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presenta el análisis de varianza combinado de los cuatro ambientes en donde hubo respuesta significativa para tratamientos, localidad y la interacción localidad por tratamiento; la mayoría de los genotipos expresaron interacción con el ambiente, sin embargo 4 materiales fueron consistentes en las tres localidades.

Las líneas evaluadas bajo condiciones de estrés en Zacapa (Figura 1), la media de rendimiento de las líneas que formaran la variedad experimental superó a la media de la población en un 217%, estos resultados del proyecto coinciden con los de Bolaños y Edmeades, (1988) en donde se concluyó que la sequía que ocurre en el período de floración del maíz es la más determinante para el rendimiento de grano.

En los resultados de esta evaluación 32% de la líneas no llegaron a la floración femenina, de estos un 25% no lograron producir ningún tipo de flor. Este factor es uno de los más importantes para seleccionar genotipos con tolerancia a sequía.

Cuadro 1. Estadísticas estimadas de las 225 líneas S₁ en el análisis de varianza combinado para ciertas características agronómicas en las localidades de Zacapa, Choluteca y San Andrés para la población sequía 1992.

F. Variación	Rend. t/ha	Días flor	Acame
Tratamientos	**	**	**
Localidad	**	**	NS
Loc. X Trat.	**	**	**
C.V. (%)	22	14.0	35.8

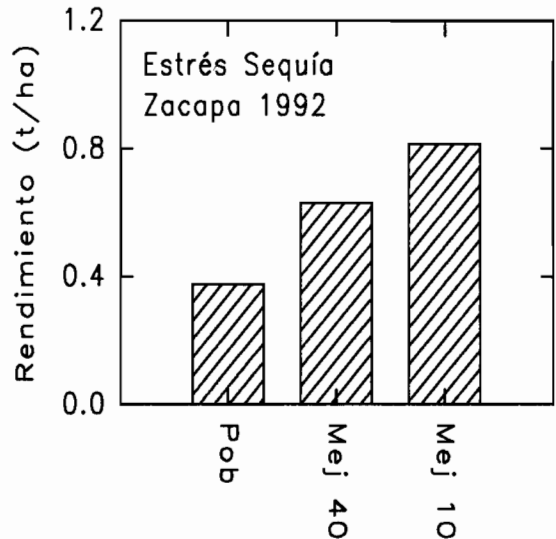


Figura 1. Rendimiento promedio de la población, las mejores 40 y las mejores 10 líneas S₁ de la población del proyecto de sequía bajo estrés en la localidad de Zacapa, Guatemala, 1992.

En el Cuadro 2 se describe el índice de selección donde el diferencial de selección se considera como la ganancia durante el ciclo.

Cuadro 2. Ganancia en la población de sequía para diferentes características agronómicas a través del índice de selección.

Variable	Media poblac.	Media fracción Sel.	Difer.
Rend. (kg/ha) Estres Zacapa	375	631	256
Rend. (kg/ha) Riego Zacapa	4651	4151	100
Rend. (kg/ha) Temporal Cholulteca	2010	2357	347
Rendimiento, Temporal Sn Andrés	4155	4345	190
Días a flor	55.0	54.7	0.3
Altura planta	175.6	172.2	0.60
% acame	6.5	3.4	3.2
Mazorcas podridas	12.9	10.8	2.1
Mazorcas/planta	0.863	0.937	0.074
Indice sequía (1-5) Cholulteca	2.56	2.44	0.115

La mayor ganancia se obtuvo en la localidad de Cholulteca con 347 kg/ha, además se hizo ganancia en reducción de porcentaje de acame y pudrición de mazorca. Las líneas seleccionadas para la formación del sintético experimental (Cuadro 3) se representa el rendimiento de las líneas, en condiciones de riego óptimo y bajo estrés, puede observarse que las líneas poseen alto potencial de rendimiento con un rango de 3.0 t/ha; además en las tres localidades se detectaron un alto porcentaje de líneas que toleran la sequía.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los diferenciales de selección en cuanto a rendimiento y otras características se determinó que la población aún mantiene alta variabilidad genética para continuar mejorándola.
2. Se logró seleccionar el 20% de las mejores líneas para recombinar la fracción superior y así poder continuar con el programa de mejoramiento de la población sequía Tuxpeño Sequía C6 x BS-19.
3. Se logró seleccionar las 10 mejores líneas para formar el tercer sintético experimental del proyecto de sequía
4. Para 1993, se hará la recombinación de la fracción superior de (40 líneas) y la formación del sintético experimental el cual antes de evaluarlo a nivel de finca se pasará de F_1 a F_2 para su estabilidad en rendimiento.

Cuadro 3. Características agronómicas de la variedad experimental de las mejores 10 líneas de la evaluación del proyecto de sequía bajo condiciones de estrés.

Entrada	Rend t/ha	Rend (riego) t/ha	Días a flor	Altura planta	% acame
163	1.34	5.00	53	177	3.0
158	1.23	4.31	54	180	3.9
44	0.82	3.81	53	174	1.9
120	0.92	4.54	52	177	-0.3
153	0.79	4.41	53	1588	4.0
143	0.61	4.26	55	186	6.9
99	0.49	4.45	54	164	0.4
3	0.42	3.77	55	178	0.5
42	0.55	4.18	55	182	0.6
70	0.97	5.05	53	154	2.5

REFERENCIAS

Barreto, H; J. Bolaños y H. Córdova. 1990. Manual de Índice de Selección Publicación CIMMYT.

Bolaños J. y Edmeades G. 1988. La importancia del intervalo de floración en el mejoramiento para la resistencia a sequía en maíz tropical. Trabajo prestado en la XXXV Reunión Anual del PCCMCA. San Pedro Sula del 2- al 9 de abril.

Brizuela, L. *et al.* 1987. Evaluación de familias de medios hermanos en la población tolerante a sequía en la estación experimental La Lujosa. Seminario de Sequía del 15 al 18 de Febrero 1990.

Brizuela, L. *et al.* 1992. Evaluación de variedades sintéticas de maíz (*Zea mays* L.) en once ambientes de Centro América. p. 43-58 en Síntesis de Resultados Experimentales de 1991, CIMMYT-PRM, Guatemala.

Teare, I.D. y Peat, M.M. 1983. Crop Water Relations. New York , John Wiley and Sons, 547 p.

Zea, J.L. *et al.* 1989. Efecto de la selección recurrente por sequía sobre el rendimiento y características agronómicas de líneas S₁ de maíz (*Zea Mays* L.) evaluadas en tres localidades de Centro América. Seminario de Sequía del 15 - 18 de Febrero 1990. Choluteca, Honduras.

Estabilidad y Reacción al Achaparramiento de Cultivares de Maíz a través de Seis Ambientes de Centro América

R. Urbina¹, M. Obando², A. Aguiluz³ y A. Alvarado⁴

RESUMEN

A través de seis ambientes de Centro América, con presión de la enfermedad y en ausencia de ésta, se evaluaron ocho cultivares de maíz con el propósito de determinar su reacción al achaparramiento y la estabilidad del rendimiento bajo presión de la enfermedad. Se incluyeron 3 sintéticos experimentales de los últimos ciclos de selección de la población 73 y 76 para tolerancia al achaparramiento, los cultivares tolerantes NB-6, NB-12 y H-53, y dos híbridos susceptibles como testigos (Dekalb B-833 y HN-879). Los cultivares tolerantes formaron dos grupos homogéneos diferentes estadísticamente a los cultivares susceptibles B-833 y HN-879, destacándose por su rendimiento y sanidad el Sint. C3P73Nic. El cultivar NB-6 liberado comercialmente en Nicaragua hace 8 años se ubica en el último lugar en el grupo homogéneo de cultivares tolerantes, siendo superado por los sintéticos de los últimos ciclos de mejoramiento en 15.5% y 11.7% en rendimiento de grano y con 17.1% y 20.5% menos plantas y mazorcas afectadas. Este comportamiento indica claramente el avance logrado en los últimos años a través del mejoramiento genético. En ambientes sin presión de la enfermedad, los cultivares tolerantes se comportaron similar estadísticamente a los híbridos B-833 y HN-879; lo cual indica que el progreso logrado ha sido sin sacrificar el potencial de rendimiento, puesto que son capaces de producir rendimientos aceptables en ambientes con y sin presión de la enfermedad. El comportamiento más destacado de los cultivares de los últimos ciclos de mejoramiento para resistencia al achaparramiento lo obtuvieron en los ambientes desfavorables ($bi < 1$).

El achaparramiento del maíz se ha establecido en algunos países como una enfermedad endofítica. En el Pacífico de Nicaragua, el achaparramiento alcanzó niveles críticos en 1986-1987, cuando afectó a 28 mil ha de maíz, con pérdidas estimadas de 30 mil ton de grano de maíz con un valor de US\$ 3-4 millones de dólares (DGB-MIDINRA, 1986). En el ciclo 1992-1993, en la región de Azuero en Panamá, se detectó un fuerte ataque de achaparramiento en toda la región, reportado en este volumen por Gordón *et al.* (1993). Condiciones de siembra tardía, precipitación escasa, baja humedad relativa y altas temperaturas son favorables para el desarrollo del vector de la enfermedad, *Dalbulus maidis*.

Para enfrentar este problema y con el propósito de asegurar una producción sostenida de maíz en las regiones donde el achaparramiento constituye una amenaza potencial, el Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe (PRM) está realizando actividades de mejoramiento genético tendientes a desarrollar cultivares con tolerancia al achaparramiento desde hace varios años. La población 73 y 76 están siendo mejoradas en esquemas de selección recurrente para tolerancia al achaparramiento (Urbina *et al.*, 1989; Aguiluz y Urbina, 1992).

La Pob.73 ha dado origen a las variedades existentes en la región con mejor tolerancia al achaparramiento. En Nicaragua, la variedad NB-6 se liberó en 1985 derivada de Santa Rosa 8073 (de León *et al.*, 1984). Evaluaciones mostraron que Santa Rosa 8073 (NB-6) fue el cultivar más rendidor (6.0 t/ha) con parámetros de estabilidad $bi=1.2$ (ns) y $S^2di=0$, superando a los testigos Poza Rica 7822 (NB-4) y al X-107A en 22 y 31%, respectivamente (Urbina, 1982). Una evaluación de 14 variedades experimentales (EVT12 en 1983) a través de 19 ambientes con diversa presión de achaparramiento mostró que Santa Rosa 8073 fue la entrada con mejor rendimiento y características estables en ambientes con fuerte presión de la enfermedad (de León *et al.* 1984).

Evaluaciones de sintéticos y variedades experimentales de la Pob.73 han mostrado progreso genético sobre Santa Rosa 8073 y NB-6. Aguiluz *et al.* (1990) reportan que el sintético C3 Pob.73 superó en rendimiento de grano a NB-6 en 21% con 13% menos número de plantas y mazorcas afectadas. Córdova (1990) reporta que la variedad sintética C3 Pob.73 mostró una ganancia en rendimiento de 24.9% sobre el C0 (Santa Rosa 8073), equivalente a una tasa de 8.3% o 240 kg/ha por ciclo de mejoramiento. El incremento en rendimiento está asociado a un incremento en la resistencia al achaparramiento con una reducción en la enfermedad de 12.4% menos plantas y mazorcas. En un estudio evaluando varios ciclos de selección de la Pob. 73 y 76, Aguiluz y Urbina (1992) reportan un aumento en el rendimiento de 306 kg/ha por ciclo (10.4% por ciclo) en ambientes

¹Director Programa de Maíz CNIGB, Nicaragua; ²Investigador Programa de Maíz CNIGB, Nicaragua; ³Coordinador Programa de Maíz CENTA, El Salvador; ⁴Subdirector del IDIAP, Panamá.

con fuerte presencia de achaparramiento y una reducción de 10% por ciclo en el número de plantas afectadas. Al hacer una regresión entre rendimiento y número de plantas con síntomas de achaparramiento se determinó que por cada planta enferma se reduce el rendimiento aproximadamente en 75 gramos (Aguiluz y Urbina, 1992).

Los objetivos del presente estudio son evaluar la sanidad y el rendimiento de grano de cultivares de maíz desarrollados en los últimos ciclos de mejoramiento genético para resistencia al achaparramiento y determinar la estabilidad del rendimiento y reacción al achaparramiento de los cultivares, a través de ambientes con diferentes niveles de incidencia de la enfermedad.

MATERIALES Y METODOS

Los ensayos se sembraron en estaciones experimentales de las instituciones participantes, 2 en primera (ciclo A) (San Cristóbal, Santa Rosa, en Nicaragua) y 4 en postrera (ciclo B), (San Cristóbal, Santa Rosa, en Nicaragua; Río Hato, en Panamá; y Santa Cruz Porriño, en El Salvador). Se evaluaron sintéticos tolerantes al achaparramiento provenientes de los últimos ciclos de selección de las poblaciones 73 y 76 contra conocidos testigos tolerantes y susceptibles para 8 entradas: SC3P73N, SC2P76N, SC3P73R, NB-6, NB-12, H-53, HN-879 y Dekalb B-833. Se usó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones en parcelas de 4 surcos de 5 m de largo a 0.76 m entre sí con 2 plantas por golpe cada 0.5 m. Sólo se usaron para las mediciones los dos surcos centrales. Los experimentos se fertilizaron a razón de 104-39-13, y se aplicó 25 kg/ha de carbofuran 5% en el fondo del surco al momento de la siembra para prevenir el daño de las plagas del suelo. Las malezas se controlaron mecánicamente y el control de las plagas del follaje se inició a los 35 días después de la emergencia. Esta labor se realizó en esa época con el propósito de que durante los primeros 30 días, las plantas estuviésem expuestas a la mayor cantidad de *Dalbulus maidis* para lograr una segura inoculación.

La evaluación de la sintomatología de la enfermedad en el follaje se realizó a los 75 días después de la siembra (o sea 15 días después de haber concluido la floración del cultivar más tardío); mediante un conteo de las plantas con síntomas de la enfermedad en cada una de las parcelas. Se usó una escala de calificación de 1 a 5, donde 1=resistente y

5=susceptible, 1 indicando que todas las plantas de la parcela están completamente sanas y 5 todas las plantas enfermas. Al momento de la cosecha se contabilizó en cada parcela el número de mazorcas afectadas por el achaparramiento. Se registraron las características agronómicas, número de plantas y mazorcas afectadas por el achaparramiento y rendimiento de grano.

Con la variable rendimiento de grano se efectuaron análisis de varianza individuales para cada localidad, análisis de estabilidad mediante el modelo de Eberhart y Russell (1966), desglose de la variabilidad a través de la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. El índice de resistencia al achaparramiento (IRA) se calculó como 1 menos la pérdida de rendimiento por achaparramiento en referencia al rendimiento de un tratamiento control de la siguiente manera:

$$IRA = 1 - (Y1 - Y2) / (Y1)$$

Y1 = Rendimiento en ambiente favorable

Y2 = Rendimiento en ambiente desfavorable

RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 1 muestra las fuentes de variación para rendimiento en el análisis combinado a través de las localidades. Todas las fuentes de variación del análisis combinado resultaron significativas. La interacción genotipo x ambiente fue significativa, indicando un comportamiento relativo diferente a través de los ambientes evaluados.

Cuadro 1. Análisis de varianza combinado de ocho cultivares de maíz evaluados en seis ambientes de Centro América, 1991.

Fuente	GL	CM	Fcal
Localidades	5	38,207,285	68.48***
Cultivares	7	7,149,395	2.51**
Loc. x Cult.	35	2,844,105	9.17**
Error	125	271,981	

CV = 14.05%

Las medias de rendimiento por cada localidad se presentan en el Cuadro 2, junto con los parámetros estadísticos del análisis combinado y los parámetros de estabilidad. Los 2 ambientes de ciclo de postrera de Nicaragua (SCrist y SRosa 91B) presentaron los

Cuadro 2. Medias de rendimiento e índices ambientales de cultivares de maíz evaluados en ambientes de Nicaragua, Panamá y El Salvador, 1991 A.

Cultivares	SCrist 91A	SRosa 91A	SCrist 91B	SRosa 91B	Rio Hato 91B	El Salv 91B	Media		% sobre NB6	Coef Reg Bi	Desv Reg S ² di	%pl achp	%mz achp
	<i>kg/ha</i>												
SC3P73 N	4896	4701	2873	3507	5147	4200	4221	a	115	0.662 ns	0.235**	38.5	21.7
SC2P76 N	4593	4403	3026	4022	4471	4798	4219	a	115	0.510 *	0.045ns	42.3	17.0
SC3P73 R	4326	4606	3298	3531	4607	3964	4055	ab	111	0.359 *	0.117*	42.8	18.3
NB-12	4053	4419	2902	3556	4593	4563	4014	ab	109	0.547 *	0.038ns	49.5	20.9
H-53	4607	3778	1369	3038	5080	4547	3730	ab	102	1.188 ns	0.126*	56.8	50.4
NB-6	4831	3307	1747	2466	4392	5297	3666	b	100	1.202 ns	0.152*	54.0	38.8
B-833	3524	1171	1234	1074	5387	5549	2990	c	82	1.779 **	0.788**	78.8	72.8
HN-879	2827	1081	789	1392	5375	5308	2795	c	76	1.749 **	0.814**	82.6	76.2
Media	4207	3224	2155	2824	4882	4772	3711			1.00	0.289	55.7	39.5
Ind. Amb.	496	-283	-1557	-887	1170	1061							
Desv. Est.	252	235	298	220	405	457							
DMS 05	765.4	727.4	915.5	676.0	824.6	1258.9							
F. Trat.	***	***	***	***	NS	NS							
CV (%)	10.8	13.2	23.7	14.1	11.1	17.4							

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

² Medias de cuatro ambientes de estrés de achaparramiento.

rendimientos más bajos y niveles de virulencia más altos. Los ambientes de Panamá y El Salvador mostraron poca incidencia de la enfermedad y altos rendimientos. En los ambientes donde la enfermedad se presentó con niveles de virulencia media (38.4%) a alta (79.6%) los cultivares tolerantes fueron estadísticamente diferentes a los testigos susceptibles. En las localidades de Panamá y El Salvador donde no hubo incidencia de la enfermedad los cultivares se comportaron estadísticamente similares, siendo comparable el rendimiento de los cultivares tolerantes experimentales SC3P73R, SC3P73N y SC2P76N y los comerciales NB-6 y NB-12, al de los híbridos B-833, H-53 y HN-879, de alto potencial productivo.

Los mismos resultados se presentan más claramente en la Figura 1 y 2. Estas muestran las gráficas de estabilidad de los cultivares a través de todos los ambientes evaluados. El potencial de rendimiento de cada ambiente varió de 2.0 a 5.0 t/ha principalmente por variación en la incidencia de la enfermedad. Los sintéticos local y regional del C3 de la Pob.73, el sintético del C2 la Pob.76, y la variedad NB-12 superaron en más de 2.0 t/ha al rendimiento de los materiales susceptibles en ambientes con estrés de achaparramiento (Figura 1).

Sin embargo, en ambientes sin presión de la

enfermedad, los sintéticos experimentales rindieron casi igual que los híbridos susceptibles de alto potencial de rendimiento. Los cultivares NB-6 y H-53 mostraron un comportamiento medio entre los resistentes y susceptibles. La interacción significativa entre genotipo x ambiente que se detecta en el Cuadro 2 se debe a la respuesta diferencial de los cultivares, pero sin detectar ningún cruzamiento significativo.

Al desglosar la variabilidad del rendimiento promedio de los cultivares a través de los seis ambientes, se logró establecer tres grupos homogéneos. En el primer grupo están los últimos sintéticos SC3P73R, SC3P73N, SC2P76N y NB-12; en el segundo grupo NB-6 y H-53; y los híbridos susceptibles, B-833 y HN-879, los cuales están en el tercer grupo. En relación al testigo tolerante NB-6, los cultivares SC3P73N, SC2P76N y SC3P73R lo superaron en rendimiento de grano en 15% y 11%, a su vez presentaron de 11.7 a 15.5% menos plantas afectadas y 17.1 a 20.5% menos mazorcas afectadas. Obviamente la superioridad de los sintéticos respecto al testigo B-833 fue mayor. El mejor sintético (SC3P73N) superó en rendimiento de grano al B-833 en 41%, además tuvo 40.3 y 51.1% menos plantas y mazorcas enfermas en ambientes con presión de la enfermedad.

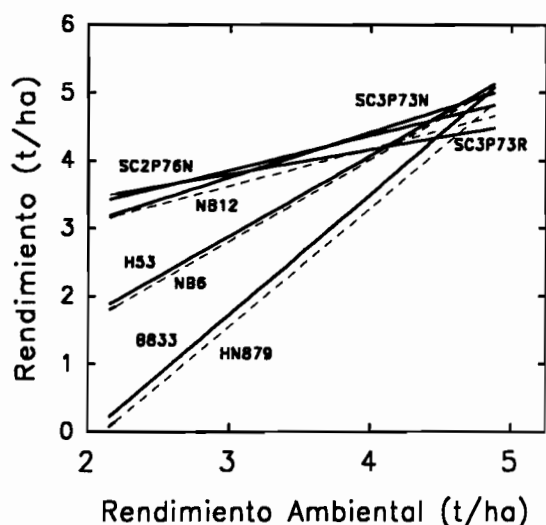


Figura 1. Líneas de regresión de ocho cultivares de maíz evaluados a través de 6 localidades con alta y baja presión de achaparramiento en Centro América, 1991.

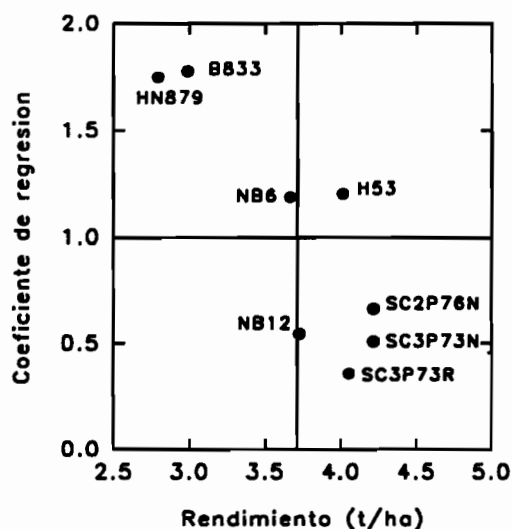


Figura 2. Estabilidad de cultivares de maíz tolerantes al achaparramiento a través de diversas localidades en Centro América, 1991.

En base a estos análisis, NB-12 ($bi= 0.547^*$, $S^2di=0.038$ NS), SC2P76N ($bi=0.510^{**}$, $S^2di=0.045$ NS) y SC3P73R ($bi=0.359^*$, $S^2di=0.117^*$) por sus bajos coeficientes de regresión se clasificaron como genotipos que responden mejor en ambientes desfavorables consistentemente. Los cultivares NB-6 y H-53 mostraron una estabilidad media, presentaron buena respuestas en todos los ambientes (bi similar a 1 estadísticamente), pero inconsistentes por tener desviaciones de regresión mayores que cero. Los

híbridos Dekalb B-833 ($bi= 1.779^{**}$, $S^2di= 0.788^{**}$) y HN-879 ($bi= 1.749^{**}$, $S^2di= 0.814^{**}$) por sus coeficientes y desviaciones de regresión mayores que 1 se clasificaron como genotipos inconsistentes y que responden mejor en buenos ambientes. Estos materiales mostraron mucha susceptibilidad al achaparramiento.

Estos datos muestran que se han obtenido ganancias en rendimiento y tolerancia al achaparramiento en las Pob. 73 y 76 bajo mejoramiento por el PRM para resistencia al achaparramiento. Los datos muestran que se ha obtenido ganancia en rendimiento bajo presión de achaparramiento sin sacrificar mucho el potencial de rendimiento de los cultivares. El esquema de selección utilizado ha posibilitado mantener ganancias significativas en rendimiento bajo estrés pero sin reducción del potencial de rendimiento (Figura 1).

Se detecta una ganancia en rendimiento superior a 1.0 t/ha en ambientes con mucha presión de la enfermedad de los últimos sintéticos experimentales del esquema de mejoramiento para tolerancia a achaparramiento en comparación con el NB-6 y H-53, materiales que sirven como indicadores del punto de partida de la selección. Esto significa que se ha venido obteniendo ganancias en rendimiento cercanas a 0.3 t/ha por cada ciclo de selección en ambientes con potencial de rendimiento bajos por la presión de la enfermedad. Aguiluz y Urbina (1992) reportan una reducción de 75 g de rendimiento por cada planta afectada por hectárea. Usando esta proporción, se puede estimar una tasa de 4,000 pl/ha por ciclo en sanidad con la selección. El comportamiento de los híbridos en el presente estudio es similar a otros reportes (Urbina, 1982; Aguiluz *et al.*, 1990; Córdova *et al.*, 1990). Claramente se nota que los sintéticos seleccionados bajo presión de enfermedad poseen mayor tolerancia y respondieron mejor en ambientes pobres; en cambio los híbridos sin selección previa a la enfermedad se adaptaron muy bien a los ambientes óptimos donde no se presentó ningún tipo de estrés.

En base a los parámetros de estabilidad, los cultivares desarrollados en los últimos ciclos de mejoramiento tuvieron un comportamiento destacado en los ambientes con alta presión de la enfermedad. Se usó la clasificación de Carballo y Márquez (1970), presentada en el Cuadro 4 y basada en la reacción de los parámetros de regresión y de estabilidad:

Cuadro 4. Clasificación de los cultivares en función de los valores de los parámetros de estabilidad, según Carballo y Márquez 1970.

Cultivares	Coef Regr bi	Desv Reg S ² di	
SC3P73N	= 1	> 0	Buena respuesta en todos los ambientes, pero inconsistentes.
H-53	= 1	> 0	
NB-6	= 1	> 0	
SC2P76N	< 1	= 0	Responden mejor en ambientes desfavorables consistentemente.
NB-12	< 1	= 0	
SC3P73R	< 1	> 0	Responde mejor en ambientes desfavorables e inconsistentemente.
B-833	> 1	> 0	Responden mejor en buenos ambientes e inconsistentes.
HN-879	> 1	> 0	

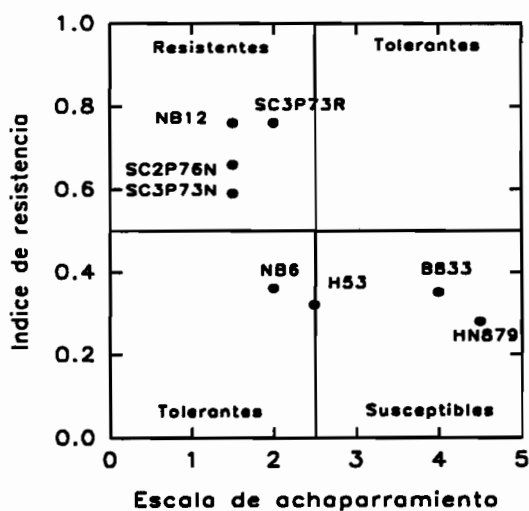
El Cuadro 5 presenta el índice de resistencia al achaparramiento (IRA) de los distintos cultivares evaluados, fundamentalmente expresando la proporción del rendimiento bajo estrés en comparación con ambientes óptimos. El SC3P73R fue el cultivar que presentó el menor porcentaje de reducción del rendimiento (23.8%) comparando los rendimientos obtenidos en el Ciclo B bajo estrés con los del Ciclo A sin estrés.

La Figura 3 muestra los cultivares según su relación entre el índice de achaparramiento y la escala promedio de calificación contra la enfermedad (1 a 5) y su clasificación como susceptibles, resistentes y tolerantes (Carballo y Márquez, 1970). En las regiones donde el achaparramiento se presenta como una enfermedad endofítica, se puede sembrar el SC3P73R y NB-12 ya que mantienen rendimientos altos bajo presión. Debido a los altos niveles de virulencia adquirido por el achaparramiento en los últimos años en Nicaragua; el testigo comercial NB-6 presentó una tolerancia media y el H-53 tolerancia baja con tendencia a la susceptibilidad. Los sintéticos desarrollados con presiones altas de la enfermedad fueron los cultivares más resistentes; destacándose el SC3P73R y NB-12 cuyos comportamientos son comparables.

Cuadro 5. Efecto del achaparramiento en el rendimiento de grano de cultivares de maíz evaluados en San Cristóbal, Nicaragua 1991, durante los ciclos A y B.

Cultivares	Rendimiento		% Reduc	IRA ¹
	Ciclo A	Ciclo B		
SC3P73 N	4896	2873	41.3	0.59
SC2P76 N	4593	3026	34.1	0.66
SC3P73 R	4326	3298	23.8	0.76
NB-12	4053	2902	28.4	0.72
H-53	4607	1379	70.3	0.30
NB-6	4831	1747	63.8	0.36
B-833	3524	1234	65.0	0.35
HN-879	2827	789	72.1	0.28

1/IRA, Índice de resistencia al achaparramiento


Figura 3. Respuesta de cultivares del maíz al achaparramiento, San Cristóbal, Nicaragua, 1991, ciclos A y B.

CONCLUSIONES

- Los sintéticos SC3P73N, SC2P76N y SC3P73R, presentaron mayor rendimiento de grano y menor porcentaje de plantas y mazorcas afectadas por achaparramiento que los testigos tolerantes NB-6 y H-53, mostrando buen progreso genético en el mejoramiento para tolerancia al achaparramiento en estas poblaciones.
- Los cultivares desarrollados en los últimos ciclos de mejoramiento para resistencia al achaparramiento presentaron mejor respuesta en los ambientes

desfavorables con presión de la enfermedad, pero sin perder su potencial de rendimiento en ambientes favorables. Los sintéticos SC3P73N, SC2P76N y SC3P73R, rindieron igual a los híbridos susceptibles B-833 y HN-879 en ambientes donde no hubo presión de la enfermedad.

3. Los cultivares tolerantes superaron ampliamente a los testigos susceptibles, los híbridos B-833 y HN-879 en rendimiento de grano y sanidad en ambientes con presión de la enfermedad. En algunos casos, estas ganancias fueron mayores a 2.0 t/ha (>100%).

4. Los sintéticos SC3P73R y NB-12 fueron los cultivares que sufrieron menos abatimiento del rendimiento al pasar de un ambiente con baja incidencia de la enfermedad a otro de alta incidencia. Se recomienda seguir con el mejoramiento para tolerancia a achaparramiento.

REFERENCIAS

Aguiluz, A., *et al.* 1990. Efecto del mejoramiento para resistencia al achaparramiento sobre el rendimiento de cultivares de maíz evaluados en siete ambientes de Centro América y El Caribe. p. 67-72 en Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma para resistencia a factores adversos bióticos y abióticos 1990. PRM-CIMMYT, Guatemala, Guatemala.

Aguiluz, A., R. Urbina A. 1992. Evaluación de ciclos de selección para resistencia al achaparramiento en la población 73. p. 59-65 en Síntesis de Resultados Experimentales 1991. PRM. Vol.3, CIMMYT, Guatemala.

Carballo C., A. y F. Márquez S. 1970. Comparación de variedades de maíz de El Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5 (1): 129-146.

Córdova O., H. 1990. Desarrollo y mejoramiento de germoplasma para resistencia a factores adversos bióticos y abióticos y producción de semilla. Estrategias y Logros 1986-1991. PRM-CIMMYT, Guatemala, Guatemala.

De León, C. L. Pineda, R. Rodríguez. 1984. Resistencia genética: una alternativa contra el achaparramiento del maíz. p. 19 en XXX Reunión Anual del PCCMCA. Managua, Nicaragua.

Gordón, R. *et al.* 1993. Situación del achaparramiento del maíz en Azuero, Panamá, 1992. p. 185-195 en Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol 4, CIMMYT, Guatemala.

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

Urbina, R. 1982. Evaluación de variedades experimentales de maíz resistentes al achaparramiento, en tres épocas de siembra en dos localidades de Nicaragua. p. 29, XXVIII Reunión Anual del PCCMCA. San José, Costa Rica.

Urbina A., R. *et al.* 1989. Proyecto colaborativo de mejoramiento genético para resistencia al achaparramiento del maíz. Taller 1990. p.109-114 en Proyectos Colaborativos en Agronomía, Desarrollo y mejoramiento de germoplasma en maíz (*Zea mays* L.). PRM-CIMMYT, Guatemala.

Reacción de Familias de Hermanos Completos de la Población 76 al Achaparramiento de Maíz

Marvin Obando y Róger Urbina¹

RESUMEN

La enfermedad del achaparramiento del maíz puede alcanzar niveles críticos de incidencia sobre la producción cuando se presentan factores favorables a la enfermedad como escasez de lluvia, altas temperaturas, baja humedad relativa y fechas de siembra fuera de época. El Programa Regional de Maíz (PRM) para Centro América y El Caribe viene efectuando mejoramiento genético para tolerancia al achaparramiento en maíz en las poblaciones 73 y 76 desde varios años atrás. El objetivo de este trabajo fue evaluar la reacción de 225 familias de hermanos completos de la población 76 (TLWF) del segundo ciclo de selección recurrente bajo ambientes contrastantes de incidencia de la enfermedad. Las siembras se efectuaron en los meses de julio y septiembre en el Campo Experimental de Sta. Rosa, Managua. Se utilizó un diseño experimental de látice 15 x 15 con 2 repeticiones. La media de rendimiento de la fracción seleccionada (50 familias) superaron a la media de la población y de los testigos NB-12 y B-833 en los dos ambientes de prueba. En relación a los porcentajes de plantas enfermas, en la población fueron de 48.3 y 40.9% y en las fracciones seleccionadas de 34.8 y 40.9% respectivamente, e inferiores a los testigos NB-12 (tolerante) y B-833 (susceptible). Se encontró una correlación negativa altamente significativa entre porcentajes de plantas y mazorcas afectadas por la enfermedad y el rendimiento de grano (-0.208**, -0.303**). Los ambientes de selección permitieron identificar familias superiores en rendimiento y reacción al achaparramiento. Existen ganancias en rendimiento de grano y disminución de la sintomatología de la enfermedad en plantas y mazorcas producto de la agrupación de alelos favorables condicionadores de la resistencia.

La enfermedad conocida como el achaparramiento puede reducir fuertemente los rendimientos de maíz en la región de Centro América y el Caribe. La enfermedad puede alcanzar niveles críticos de incidencia sobre la producción principalmente en aquellas regiones y áreas donde las condiciones climáticas son favorables para el desarrollo del vector (*Dalbulus maidis*) de la enfermedad; tales como la escasez de lluvia, altas temperaturas, baja humedad relativa y siembras fuera de época (Urbina *et al.*, 1989; Aguiluz *et al.*, 1990).

En 1986 se cuantificaron los efectos de la enfermedad en el Pacífico de Nicaragua (Anónimo, 1986). De las 40 mil ha de maíz sembradas se perdieron por achaparramiento cerca de 27 mil ha, lo que ocasionó una pérdida de 24.000 ton de grano (Anónimo, 1986).

En estos países lo mejor es sembrar cultivares con altos niveles de resistencia a la enfermedad. El germoplasma con éstas características se está obteniendo a través del Programa Regional de Maíz (PRM) y sus esquemas colaborativos de mejoramiento genético (Urbina *et al.*, 1989; Aguiluz *et al.*, 1990). En Nicaragua, el programa nacional de maíz ha liberado las variedades comerciales NB-6 y NB-12, derivadas de las poblaciones 73 y 76, respectivamente, con altos niveles de tolerancia al achaparramiento.

Los objetivos de este estudio son evaluar la reacción al achaparramiento y el rendimiento de grano de 225 familias de hermanos completos del segundo ciclo de selección en la población 76 en ambientes normales y de alta incidencia de la enfermedad.

MATERIALES Y METODOS

El germoplasma estuvo constituido por 225 familias de hermanos completos provenientes del Ciclo 2 de la población 76 (TLWF), más los testigos NB-12 y B-833. Se utilizó un diseño experimental de látice 15 x 15 con 2 repeticiones. La parcela fue de un surco de 5 m de largo con distancia entre plantas y surcos de 0.5 y 0.76 m, con 2 plantas por postura. Las siembras se realizaron en julio (postrerón) y septiembre (postrera) de 1991 en el campo experimental de Sta. Rosa, Managua. En los experimentos se recolectaron datos de las principales características agronómicas; los cuales se tabularon para presentar los valores promedios correspondientes a cada entrada.

En cada siembra la fertilización, el control de plagas y malezas se hizo de acuerdo a las recomendaciones que se utilizan en el cultivo del maíz.

¹Investigador y Director del Programa Nacional de Maíz. CNIGB, Nicaragua.

Con la variable rendimiento de grano al 15% de humedad se hizo un análisis de varianza de cada ensayo y en conjunto; el desglose de la variabilidad se hizo mediante la prueba de Duncan al 0.05. También se realizaron análisis con el programa SELINDEX (Barreto *et al.*, 1990) para seleccionar las mejores familias, en base a las características de importancia agronómica. Así mismo se hicieron correlaciones simples entre las características agronómicas y rendimiento de grano.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los Cuadros 1 y 2 presentan los principales estadísticos (medias, desviación estándar, coeficiente de variación, análisis de varianza) de la población, fracción seleccionada (50 familias) y testigos; para seis características agronómicas, en las dos épocas de evaluación (julio, septiembre). Las medias de rendimiento de las fracciones seleccionadas superaron a las medias de la población, asimismo a los testigos NB-12 y B-833 en los dos ambientes de prueba.

Cuadro 1. Estadísticos de 225 familias de hermanos completos de la Pob.76, Ciclo 2; para cada carácter usado en la selección para resistencia al achaparramiento. Sta. Rosa, Nicaragua 1991 A.

	Rend. kg/ha	Achaparramiento	
		%Ptas Af.	%Mza Af.
Media Pob.	3826.5	48.3	22.3
Media Frac. Sel.	4488.0	34.8	12.1
Difer. Sel.	661.5	-13.5	-10.2
Máximo	5825.0	93.3	65.0
Mínimo	2097.0	9.1	0.1
Desv. Est.	694.9	14.9	13.3
CV (%)	18.2	30.9	59.9
F. Cal.	**	**	**
Testigos			
NB-12	4226.0	54.6	25.6
B-833	911.3	100.0	94.4

	Días. Flor	Altura (cm)	
		Planta	Mazorca
Media Pob.	53.3	182.2	100.1
Media Frac. Sel.	53.3	187.2	102.1
Difer. Sel.	0.0	5.2	2.0
Máximo	56.1	208.0	116.0
Mínimo	51.4	136.0	86.0
Desv. Est.	0.9	10.4	5.8
CV (%)	1.6	5.7	5.8
Testigos			
NB-12	55.0	182.0	106.3
B-833	60.0	167.0	92.0

Cuadro 2. Estadísticos de 225 familias de hermanos completos de la Pob.76, Ciclo 2; para cada carácter usado en la selección para resistencia al achaparramiento. Sta. Rosa, Nicaragua 1991 B.

	Rend. kg/ha	Achaparramiento	
		%Ptas Af.	%Mza Af.
Media Pob.	3479.0	53.6	11.1
Media Frac. Sel.	4035.0	40.9	5.1
Difer. Sel.	556.0	-12.7	-6.0
Máximo	5170.0	90.7	52.9
Mínimo	1177.0	0.6	3.5
Desv. Est.	734.01	16.3	8.2
CV (%)	734.0	16.3	8.2
Testigos			
NB-12	3627.0	76.2	26.6
B-833	1389.0	97.0	91.5

	Días. Flor	Altura (cm)	
		Planta	Mazorca
Media Pob.	56.1	215.8	113.4
Media Frac. Sel.	55.9	217.8	114.4
Difer. Sel.	-0.2	2.0	1.0
Máximo	59.8	240.0	138.0
Mínimo	52.6	185.0	91.0
Desv. Est.	1.4	10.2	7.6
CV (%)	2.5	4.7	6.7
Testigos			
NB-12	55.0	225.3	121.5
B-833	58.5	210.3	119.5

Los porcentajes de plantas achaparradas en la población fueron de 48.3% y 53.6% y en la fracción seleccionadas de 34.8% y 40.9%, si comparamos estos con los porcentajes de NB-12 (tolerante) 76.2% y 54.6% podemos afirmar que la población presenta niveles aceptables de tolerancia al achaparramiento al compararse con el testigo tolerante. También se observó alta incidencia de la enfermedad en el testigo B-833 (Susceptible) con 100% y 97% de afectación.

El Cuadro 3, presenta las correlaciones simples, de la siembra de julio. Se detectó una correlación negativa altamente significativa entre porcentajes de plantas y mazorca afectadas por la enfermedad y el rendimiento de grano (-0.208**, -0.303**); esta correlación indica que el rendimiento disminuye cuando hay mayor cantidad de plantas y mazorcas enfermas.

Cuadro 3. Coeficiente de correlación de Pearson (r) estimados entre rendimiento de grano, porcentajes de plantas afectadas por achaparramiento y características agronómicas en dos épocas (julio y agosto). Santa Rosa, Nicaragua 1991.

	Rend.	Achaparramiento	
		% Ptas Af.	% Mzas Af.
% Ptas Af.	-0.508**		
% Mzas Af.	-0.208**	0.532**	
Alt. Planta	0.314**	-0.245**	-0.200**
Alt. Mazorca	0.288**	-0.217**	-0.115NS

** Excede el nivel de significancia del 1%
r = 0.173, con 223 grados de libertad

Dos indicadores del aspecto fenotípico (altura de planta y mazorca) se correlacionaron positivamente con el rendimiento (0.314**, 0.288**), por el contrario éstos caracteres se correlacionan negativamente con la sanidad de las plantas y mazorcas (-0.245**, -0.200**).

En cuanto a la fracción seleccionada (50 familias de la evaluación de julio y 36 familias de la evaluación de septiembre, quedaron incluidas en la fracción seleccionada, obtenida a través del Índice de Selección.

CONCLUSIONES

1. En la fracción seleccionada se observan ganancias considerables en rendimiento de grano y disminución de la sintomatología de la enfermedad en plantas y mazorcas, producto de la capitalización de alelos favorables condicionadores de la resistencia.

2. La población mostró variabilidad en los caracteres utilizados para la selección de resistencia al achaparramiento.

REFERENCIAS

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

Aguiluz, A. *et al.*, 1990. Efecto del Mejoramiento para resistencia al achaparramiento sobre el rendimiento de cultivares de maíz evaluados en siete ambientes de Centro América y El Caribe. Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma para Resistencia a Factores Adversos Bióticos y Abióticos 1990.

Barreto, H., J. Bolaños y H.Córdova. 1990. Índice de Selección. CIMMYT, Guatemala.

Urbina, R. *et al.*, 1989. Evaluación de líneas S₁ derivadas de la Población 73 del tercer ciclo, de mejoramiento para resistencia al achaparramiento. Proyectos Colaborativos en Agronomía, Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma en Maíz (*Zea mays* L.) 1989.

Mejoramiento Genético del Ciclo 4 de la Población 36 para Resistencia al Achaparramiento

J. Ortiz, F. Navarro y R. Celado

RESUMEN

El Programa Regional de Maíz (PRM) viene efectuando mejoramiento genético en la población 36 para resistencia al achaparramiento desde 1985. Este trabajo describe la formación de un nuevo ciclo de selección recurrente por progenies S_1 en la población 36 para resistencia achaparramiento. Cuarenta familias S_1 fueron seleccionadas sobre dos ambientes para reconstruir la población base del 5to ciclo de mejoramiento y diez para la formación de una nueva variedad sintética. El diferencial de selección presentado por la nueva selección fue -8.07% y 0.91 ton/ha para achaparramiento y rendimiento respectivamente.

La enfermedad conocida como achaparramiento del maíz puede producir bajas importantes en la productividad de este cultivo en la región de Centro América y El Caribe. Una estrategia es la generación de cultivares de maíz con alto nivel de productividad y resistencia a la enfermedad. Grogan y Rosenkranz (1968) reportaron que la herencia de la resistencia al achaparramiento no era dominante, sino que un carácter controlado por pocos genes aditivos no epistáticos y que un programa de selección recurrente debería ser adecuado para transferir la resistencia a materiales susceptibles. Scott y Rosenkranz (1974) probaron que este esquema de mejoramiento era útil para desarrollar poblaciones resistentes al achaparramiento.

El Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe (PRM) viene seleccionando maíz para tolerancia al achaparramiento desde fines de los 1970's. De este proceso se han formado las variedades experimentales Santa Rosa 8073 y 8576, que han culminado en la liberación en Nicaragua de variedades comerciales como NB-6 y NB-12, las cuales exhiben tolerancia al achaparramiento. Los trabajos de búsqueda de resistencia a achaparramiento han sido reactivados en la segunda parte de la década de los 1980's tanto en maíces blancos como amarillos. A través de varias evaluaciones de progenies bajo presión

de achaparramiento, la población 73 ha mostrado mayores niveles de resistencia que la población 22 (Rodríguez Sosa *et al.*, 1987; Aguiluz *et al.*, 1988), por lo que después de 1989 se decidió eliminar selección en la Pob. 22 (Aguiluz *et al.*, 1989). En maíces amarillos, tres ciclos de selección recurrente para resistencia a achaparramiento en las poblaciones 28 y 36 han sido reportados por Navarro *et al.* (1987) y Celado *et al.* (1988, 1989). Sin embargo a partir del ciclo 3 se decidió continuar solo con la Pob. 36 por el alto grado de susceptibilidad presentado por la Pob. 28. Como resultados de estos trabajos se ha liberado ya una variedad sintética, CESDA-88, la cual está siendo producida comercialmente en la República Dominicana y tres sintéticos experimentales, uno proveniente del segundo ciclo y dos provenientes del tercer ciclo están en la fase de multiplicación y prueba.

En este ciclo se evaluaron progenies S_1 en San Cristóbal, República Dominicana y Damien, Haiti del ciclo 4 de mejoramiento de la Pob. 36. Los objetivos específicos de este trabajo son: a) seleccionar familias para formar una variedad con mayor adaptación para cada una de las localidades usadas en la evaluación, b) formar una variedad con adaptación a través de esas localidades, y c) mejorar la Pob. 36 de manera tal que sirva como fuente de germoplasma resistente al achaparramiento y como base de nuestro próximo ciclo de selección.

MATERIALES Y METODOS

Se evaluaron 320 líneas S_1 generadas del ciclo 4 de mejoramiento de la población 36 para achaparramiento. Este ciclo 4 fue formado recombinando las mejores 40 líneas S_1 de una evaluación de 280 líneas S_1 del ciclo 3 de la Pob. 36 en 1989. El diseño experimental fue anidado de bloques en repeticiones, con 16 bloques de 20 entradas cada uno, dos repeticiones y tres localidades (dos en San Cristóbal, República Dominicana y una en Damién, Haiti).

La parcela útil fue de un surco de 5 m y 0.8 m entre surcos, con 2 plantas por golpe a 0.5 m entre sí, para una densidad teórica de 22 plantas por surco. Se

¹Investigadores Programa de Maíz, República Dominicana, Apdo. Postal 24, San Cristobal, República Dominicana.

evaluaron las variables días a la flor, altura de planta y mazorca, acame de raíz y tallo, % mala cobertura de mazorcas, % mazorcas podridas, aspecto de mazorca, % achaparramiento, incidencia de achaparramiento (1-5), rendimiento de grano e índice de resistencia al achaparramiento (IRA):

$$IRA = 1 - (Y1-Y2)/Y1$$

donde:

Y1 = Rendimiento en ambiente favorable.

Y2 = Rendimiento en ambiente desfavorable.

La presión de selección utilizada fue de 12.5% para la recombinación de la población original, a través de la selección de 40 familias S₁ y 3% para la formación de los sintéticos correspondientes a este ciclo.

RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 1 presenta los estadísticos para las 320 líneas evaluadas. Solamente se presentan datos de 2 localidades, y en 1990 sólo se presentan datos de 300 entradas ya que se decidió eliminar un grupo de veinte entradas por problemas de suelo en ese bloque incompleto. El uso del diseño jerárquico de bloques en repeticiones permitió el cálculo de los análisis de varianza para ese caso sin mayores problemas.

Comparando el Cuadro 1 se nota que la prueba de progenies llevada a cabo en 1990 tuvo mayor rendimiento medio, una mayor altura de planta y mazorca y menor achaparramiento con respecto a la prueba llevada a cabo en 1991.

Estos estadísticos definen el ambiente de la prueba de 1990 como favorable y la del 1991 como desfavorable.

Basado en la información de los ensayos sobre los dos años se realizó una selección de 40 líneas S₁ para la formación de la población original base del ciclo 5 de mejoramiento. Sus estadísticos y los diferenciales de selección obtenidos se presentan en el Cuadro 1. La selección de estas 40 líneas S₁ fue mayormente basada en la reducción del % de achaparramiento y el aumento del rendimiento y un índice de resistencia a achaparramiento cercano a 1 o mayor que 1. Para el porcentaje de achaparramiento el diferencial de selección obtenido fue de -8.07%, mientras que para rendimiento, el diferencial de selección fue de 0.91 t/ha (Cuadro 2).

Igualmente se seleccionaron 10 líneas S₁ para ser recombinadas y formar una variedad sintética de este ciclo de mejoramiento. Las estadísticas de estas selecciones se encuentran en el Cuadro 2.

El mayor énfasis para la selección de las 10 líneas para la formación de la variedad experimental fue hecho, también para reducir el % de achaparramiento y aumentar el rendimiento de la población. El diferencial de selección para achaparramiento fue 13.71%, con una media de infestación igual a 22.60%, mientras que para rendimiento el diferencial de selección fue 1.18 tm/ha, con un promedio de rendimiento de las 10 líneas igual a 5.04 tm/ha.

Se espera que estas fracciones seleccionadas produzcan una población y variedad experimental sintética superiores a las del ciclo 4 de mejoramiento.

Cuadro 1. Estadísticos de 300 y 320 líneas S₁ Población 36. Ciclo 4 y San Cristóbal. 1990- 1991.

Variable	1990			1991			Combinado 1990-91		
	Media	Desv. St	C.V.	Media	Desv. St	C.V.	Media	Desv. St	C.V.
Rendimiento (t/ha)	4.30	0.82	18.98	3.40	0.73	21.5	3.86	0.88	22.76
Días a flor	64.17	1.06	1.65	62.25	1.17	1.88	63.16	1.29	2.04
Altura planta (cms)	161.65	10.39	6.44	156.42	7.96	5.09	159.39	10.99	6.90
Altura mazorca (cms)	84.43	8.11	9.61	74.73	6.23	8.34	79.76	8.49	10.65
Aspecto planta (1-5)	2.46	0.37	15.20	2.53	0.36	14.3	2.50	0.39	15.75
Aspecto mazorca (1-5)	2.85	0.33	11.50	2.37	0.39	16.4	2.61	0.39	15.06
% mazorca podrida	13.62	9.81	72.07	26.82	9.66	36.0	20.10	9.52	47.37
% achaparramiento	23.14	10.88	47.00	49.29	17.98	36.4	36.31	15.64	43.06
% acame raíz	8.03	7.73	96.15	14.38	11.82	82.2	11.15	9.55	85.62
% acame total	46.66	16.76	35.91	43.04	21.59	51.1	34.09	18.29	53.66
% cobertura de	11.94	9.58	80.29	8.24	7.58	91.9	10.17	10.25	100.87
IRA							0.84	0.31	36.43

Cuadro 2. Estadísticos de 40 y 10 líneas seleccionadas en la Población 36 en dos años. San Cristóbal, República Dominicana 1990-1991.

Variable	1990				1991			
	Media	Desv. St	C.V.	Dif.l Sel.	Media	Desv. St.	C.V.	Dif. Sel.
Rendimiento (t/ha)	4.77	0.51	10.66	0.91	5.04	0.55	10.84	1.18
Días a flor	63.15	1.28	2.02	-0.01	63.72	1.40	2.20	0.56
Altura plantas (cm)	164.34	11.47	6.98	4.95	165.70	14.04	8.47	6.31
Altura mazorca (cm)	82.18	8.30	10.11	2.42	82.42	9.27	11.24	2.66
Aspecto planta (1-5)	2.21	0.15	6.76	-0.29	2.10	0.15	7.33	-0.40
Aspecto mazorca (1-5)	2.47	0.33	13.25	-0.14	2.28	0.27	11.78	-0.33
% mazorca podrida	17.49	6.23	35.61	-2.61	15.74	5.10	32.37	-4.36
% achaparramiento	28.24	7.31	25.90	-8.07	22.60	5.27	23.30	-13.71
% acame raíz	8.89	5.58	62.74	-2.26	8.83	6.29	71.22	-2.32
% acame total	37.42	13.64	36.44	3.33	35.18	9.31	26.46	1.09
% cobertura mazorca	12.91	10.89	84.31	2.74	8.00	3.04	38.00	-2.17
IRA	0.85	0.27	31.16	0.01	0.94	0.31	32.67	0.10

CONCLUSIONES

1. Tres localidades habían sido contempladas para la evaluación de las progenies S_1 (dos en República Dominicana y una en Haití), sin embargo, sólo dos fueron procesadas. Aún falta por procesar los datos de la prueba de progenies S_1 llevada a cabo en Damien, Haití.

2. Cuarenta (40) líneas S_1 fueron seleccionadas sobre dos ambientes para la formación de la población base del 5^o ciclo de mejoramiento y 10 líneas para la formación de una variedad experimental correspondiente al 4^o ciclo de mejoramiento. Las familias seleccionadas presentan un diferencial de selección para achaparramiento y rendimiento (variables base de la selección) de -8.07% y 0.91 ton/ha respectivamente.

3. Se destaca la facilidad en la selección de las familias a recombinar utilizando índices de selección con el programa SELINDEX facilitado por el Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe (Barreto *et al.*, 1991).

REFERENCIAS

Aguiluz, A. *et al* 1988. Avances en el segundo ciclo de mejoramiento para resistencia al achaparramiento en dos poblaciones de maíz (*Zea mays* L.). In XXXIV Reunión Anual del PCCMCA. San José, Costa Rica, C.A.

Aguiluz, A., R. Rodríguez, R. Urbina y H. Córdova 1989. Avances en el programa de mejoramiento para resistencia al achaparramiento en dos poblaciones de maíz (22 y 73). In XXXV Reunión Anual del PCCMCA. San Pedro Sula, Honduras. p. 602-610.

Barreto, H.J., J. Bolaños y H.S. Córdova. 1991. Índice de selección. Guía para la operación del software. Manual de Capacitación Regional, CIMMYT, Guatemala.

Celado, R., F. Navarro y H. Córdova. 1989. Evaluación de líneas S_1 de maíz provenientes de las poblaciones 28 y 36 del CIMMYT resistentes al achaparramiento, ciclo segundo (*Zea mays* L.). XXXV Reunión Anual del PCCMCA. San Pedro Sula, Honduras. p. 665-676.

Celado, R., J.C. Morel y H. Córdova. 1990. Evaluación de líneas S_1 de maíz provenientes de las poblaciones 28 y 36 del CIMMYT resistentes al Achaparramiento, ciclo 3. XXXVI Reunión Anual del PCCMCA. San Salvador, El Salvador, C.A.

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

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

Rodríguez Sosa, R. 1987. Evaluación de líneas S_1 provenientes de dos poblaciones de Maíz del CIMMYT, Pob. 22 y Pob. 73, resistentes al achaparramiento. In XXXIII Reunión Anal del PCCMCA, Guatemala, Guatemala, C.A.

Mejoramiento Genético de las Poblaciones 36 y CESDA-88 para Resistencia al Achaparramiento 1992-1993

José Ortiz y Félix Navarro¹

RESUMEN

El achaparramiento del maíz puede causar bajas importantes en la productividad del cultivo en la región de Centro América. El PRM viene efectuando mejoramiento genético para tolerancia al achaparramiento en la Población 36 desde hace varios años. La variedad CESDA-88, formada por cruza de las poblaciones 24, 26 y 28 por Francés Largo, ha mostrado buen potencial como fuente de resistencia. En este estudio se evaluaron 200 familias S₁ del ciclo 5 de selección de la Pob. 36 y del CESDA-88 en dos localidades de República Dominicana bajo niveles contrastantes de enfermedad. Se seleccionaron las mejores 10 familias para formar variedades sintéticas que se esperan que sean superiores a las poblaciones base.

El achaparramiento del maíz es una de las principales limitantes de la productividad del maíz en la región de Centro América y el Caribe. Desde hace varios años el Programa Regional de Maíz (PRM) viene mejorando varias poblaciones de maíz para tolerancia al achaparramiento. En 1985, se comenzó un programa de mejoramiento bajo selección recurrente de líneas S₁ en las poblaciones 28 y 36 (Navarro *et al.*, 1987). En este primer ciclo se evaluaron 400 y 350 líneas S₁ generadas de ocho variedades de la Pob. 28 y 7 variedades de la Pob. 36, respectivamente. También se incluyeron 50 líneas S₁ de la Pob. Compuesto 24, 26, 28 x Francés Largo (material criollo). Así se seleccionaron 40 líneas de cada población para formar las poblaciones bases del ciclo 2 y con las mejores 6 S₁ del Compuesto 24, 26, 28 x Francés Largo se formó el sintético STR-C1. De esta última población se seleccionó posteriormente la variedad CESDA-88.

En el segundo ciclo de selección se usó un diferencial de selección de 950 kg/ha para rendimiento y 20.4% para achaparramiento en la Pob. 28, y de 1094 kg/ha para rendimiento y 24.5% para achaparramiento en la Pob. 36 (Celado *et al.*, 1989).

El tercer ciclo de selección en la Pob. 36 se basó en un diferencial de selección de 141 kg/ha y 22% para

rendimiento y % achaparramiento respectivamente. Esto indicó que el fuerte de la selección fue contra achaparramiento (Celado *et al.*, 1990). En este ciclo se decidió proseguir el mejoramiento sólo de la Pob.36 ya que la Pob.28 mostró poca fuente de resistencia al achaparramiento (Celado *et al.*, 1990). El ciclo 4 de mejoramiento en la Pob.36 se reporta en este volumen (Ortiz *et al.* 1993a), así como una evaluación de cultivares amarillos y el progreso obtenido en la Pob.36 (Ortiz *et al.*, 1993b). En el mismo estudio, CESDA-88 mostró el mejor comportamiento a través de las localidades evaluadas como fuente de resistencia al achaparramiento.

Los objetivos de este trabajo son comparar la respuesta de las poblaciones CESDA-88 y la Pob.36 en diferentes ambientes y seleccionar familias élites de ambas poblaciones para formar variedades sintéticas correspondiente al ciclo 1 del CESDA-88 y ciclo 5 de la Población 36 mejoradas por el método de selección recurrente entre líneas S₁.

MATERIALES Y METODOS

Como parte del esquema de selección recurrente por familias S₁, 200 familias S₁ de la Población CESDA-88 y Pob.36, respectivamente, fueron sembradas y evaluadas en un diseño de látice simple 20 x 20 con dos repeticiones en el invierno 1992. Las localidades utilizadas fueron San Juan de la Maguana y San Cristóbal en la República Dominicana. En San Cristóbal sólo fue cosechada una sola repetición. Criterios importantes para la evaluación fueron presencia de achaparramiento y rendimiento en grano.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de los análisis de varianza realizados para tres repeticiones (dos en San Juan de la Maguana y una en San Cristóbal). El análisis mostró diferencias significativas ($\alpha=0.01$) entre las familias de cada población a través de las localidades evaluadas para las variables bajo estudio. San Juan presentó el mayor estrés de achaparramiento (Cuadro 2).

¹Fitomejoradores, Centro Sur de Desarrollo Agropecuario CESDA, Programa de Maíz y Sorgo, Apartado Postal 24, San Cristóbal, República Dominicana.

Cuadro 1. Cuadrados medios de las variables evaluadas a través de localidades.

Fuente	Rndimiento (t/ha)	% Achaparra.
Repetición	41.83**	59803.95**
Población	13.12**	35099.81**
Error	0.75	378.41

** Diferencias significativas al 1%

Cuadro 2. Medias de variables evaluadas a través de localidades.

Fuente	Rndimiento (t/ha)	% Achaparra.
San Juan M	1.37	42.33
San Juan M	1.69	39.11
San Cristóbal	2.02	19.73
LSD $\alpha = 0.01$	0.14	3.36

Cuadro 3. Medias de las variables evaluadas por población por localidad, invierno 1992.

Población	Variable	San Cristobal	San Juan	Media
CESDA-88	% Achap.	21.18	31.88	28.32
	Rend. (t/ha)	1.73	1.53	1.59
Pob. 36	% Achap.	18.28	49.56	39.13
	Rend. (t/ha)	2.32	1.54	1.80

En este estudio el rendimiento medio de las familias S_1 de la Población 36 fue superior al CESDA-8, sin embargo, la Población 36 fue más afectada por achaparramiento, Cuadro 3.

En el Cuadro 3 se presentan las medias de las poblaciones por localidad. En San Cristóbal, las familias de la Población 36 mostraron mayor rendimiento promedio que en San Juan de la Maguana. En San Juan de la Maguana el CESDA-88 respondió mejor al alto estrés de achaparramiento presentado; sin embargo, no fue significativamente diferente de la Población 36 en rendimiento de grano.

El efecto del achaparramiento en las líneas S_1 probadas y su influencia en el rendimiento fue inferido a través de análisis de regresión utilizando las medias de las tres repeticiones de las familias en cada población para San Juan de la Maguana y San Cristóbal respectivamente.

La Figura 1 muestra la regresión de los datos promedio para las tres repeticiones. Las pérdidas en rendimiento por achaparramiento son casi el doble en la Pob.36 que el CESDA-88. El CESDA-88 muestra una pendiente de repuesta mucho menos sensitiva a medida que el estrés de achaparramiento aumenta.

En la localidad de San Juan de la Maguana para CESDA-88 la regresión no fue significativa, lo cual implica que el rendimiento de las familias no fue severamente afectado por la incidencia de achaparramiento. Para la Pob.36, el coeficiente de regresión fue diferente de cero lo cual implica un mayor efecto del achaparramiento sobre el rendimiento de las líneas S_1 evaluadas respecto a las del CESDA-88.

En la localidad de San Cristóbal el coeficiente de regresión para ambas poblaciones no fue significativamente diferente de cero al 5% de probabilidad. Esto es en parte debido a una menor incidencia de la enfermedad para esta localidad (19.7%). Los resultados de este trabajo confirman lo expresado por Ortiz *et al.*, (1993b) sobre la necesidad de hacer evaluaciones de progenies en varias localidades, ya que la Pob.36 que sólo ha sido seleccionada y formada en San Cristóbal, respondió particularmente bien en esta localidad si es comparada con los resultados de San Juan de la Maguana.

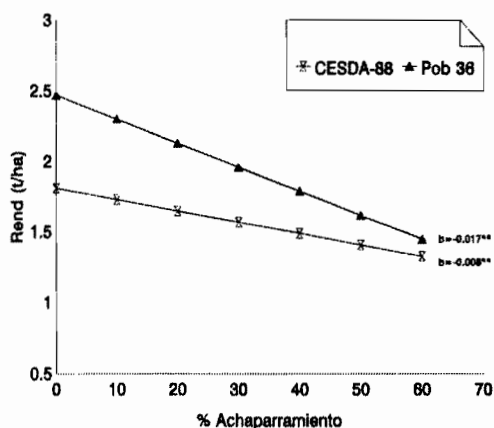


Figura 1. Regresión general por población.

La variedad CESDA-88 resultó ser la variedad más promisoría para achaparramiento en una evaluación de varios sintéticos de la Población 36 (Ortiz *et al.*, 1993b). Debido a estos resultados, se ha decidido avanzar las familias S₁ de la población CESDA-88 a S₂ con el objetivo de capitalizar con mayor efectividad los efectos aditivos en las familias selectas de la población. La Población 36 será mantenida bajo un esquema simple de selección fenotípica de medios hermanos.

La selección de la fracción seleccionada para formar una variedad sintética correspondiente al ciclo 1 para CESDA-88 y ciclo 5 para la Población 36, se realizó con una presión de selección del 5% (10 familias) cuyas medias y diferencial de selección se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Diferencial de selección por variable por población

Población	Variable	Media pobla	Media frac. selecta	Diferen. selección
CESDA-88	% Achap.	28.32	11.42	-16.89
	Rend. (t/ha)	1.59	2.88	1.29
Pob 36	% Achap.	39.13	24.20	-14.93
	Rend. (t/ha)	1.80	2.88	1.08

CONCLUSIONES

1. La Población 36 rindió más que CESDA-88 en una de las localidades evaluadas (San Cristóbal), pero presentó menor tolerancia al achaparramiento que CESDA-88.

2. Análisis de regresión mostraron que las pérdidas en rendimiento por la severidad del achaparramiento fue más fuerte en la Población 36 que en CESDA-88.

3. Familias para formar los sintéticos de cada población involucrada fueron seleccionados presentando diferenciales de selección en achaparramiento y rendimiento de -16.89% y 1.29 ton/ha para la población CESDA-88 y -14.93% y 1.08 ton/ha para la Población 36.

REFERENCIAS

Celado, R., F. Navarro y H. Cordova. 1989. Evaluación de líneas S₁ de maíz provenientes de las Poblaciones 28 y 36 del CIMMYT resistentes al achaparramiento, ciclo segundo (*Zea mays* L.). XXXV Reunión Anual del PCCMCA, San Pedro Sula, Honduras. p. 665-676.

Celado, R., J.C. Morel y H. Cordova. 1990. Evaluación de líneas S₁ de maíz provenientes de las Poblaciones 28 y 36 del CIMMYT resistentes al Achaparramiento, ciclo 3. XXXVI Reunión Anual del PCCMCA, San Salvador, El Salvador, C.A.

Navarro, F., R. Pérez y 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.

Ortiz, R., F. Navarro, y R. Celado. 1993a. Mejoramiento genético del ciclo 4 de la población 36 para resistencia al achaparramiento. En Síntesis de Resultados Experimentales del PRM, 1992, Vol. 4 (1993), p. 76-78.

Ortiz, R., F. Navarro, R. Celado, R. Pierre, y F. Guerra. 1993b. Evaluación de cultivares amarillos de maíz (*Zea mays* L.) para achaparramiento. En Síntesis de Resultados Experimentales del PRM, 1992, Vol. 4 (1993), p. 82-84.

Evaluación y Mejoramiento de Cultivares Amarillos de Maíz (*Zea mays* L.) para Achaparramiento

J. Ortiz, F. Navarro, R. Celado, R. Pierre y F. Guerra¹

RESUMEN

Ocho cultivares de maíz amarillo generados por el proyecto de achaparramiento de maíz fueron evaluados en cinco ambientes de Centro América y El Caribe. Los objetivos específicos eran evaluar su grado de tolerancia al achaparramiento, cuantificar el progreso logrado a través de la selección e identificar la población amarilla más promisoría. CESDA-88, población obtenida por el Programa de Maíz y Sorgo del CESDA, fue la variedad con menor porcentaje de achaparramiento (15.6%) y obtuvo buen rendimiento. Ganancias por selección fue obtenida en la población 36 sólo en una localidad. El análisis de regresión mostró que el rendimiento no fue afectado significativamente por el porcentaje de achaparramiento. Por los resultados de este estudio nuestro Proyecto ha decidido aumentar sus esfuerzos en la población 'CESDA-88'.

El achaparramiento del maíz es una de las principales limitantes que contribuyen a la baja productividad del maíz en algunos países de Centro América y El Caribe. El Programa Regional de Maíz (PRM) para Centro América y El Caribe ha estado buscando tolerancia a esta enfermedad en algunas poblaciones amarillas desde hace varios años. Actualmente la población 36 se encuentra en su 5to ciclo de selección, y se ha liberado la variedad CESDA88, producto del cruce de las poblaciones 24, 26 y 28 de CIMMYT con la variedad local Francés Largo (Ortiz y Navarro, 1993). CESDA88 fue mejorada en un principio por el método de selección fenotípica de mazorca por surco, en la actualidad se mejora con el esquema de selección de progenies S_2 , en espera de aumentar las ganancia por selección.

El presente estudio persigue los siguientes objetivos: a) evaluar la tolerancia al achaparramiento de algunos materiales amarillos, b) estudiar el progreso por selección en la población 36, y c) seleccionar la población amarilla más promisoría.

MATERIALES Y METODOS

Ocho variedades de polinización abierta con cierto grado de tolerancia al achaparramiento, Cuadro 1, se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las localidades utilizadas fueron Baní, San Cristóbal (SC), San Juan de la Maguana (SJM), y Luperón (LU) en la República Dominicana y San Andrés (SA) en El Salvador en el invierno 1992.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para el análisis del achaparramiento se evaluaron tres localidades de las cinco reportadas, ya que, en una de ella no se contabilizó las plantas establecidas por parcela y en la otra fue imposible el conteo de plantas afectadas. Diferencias significativas fueron detectadas para las variables rendimiento, % achaparramiento y floración para los efectos de localidades, variedades y la interacción localidad por variedad, Cuadro 2.

En el Cuadro 3, se muestra el ambiente más rendidor que correspondió a San Cristóbal, superando en un 25% a San Andrés. En San Juan y San Cristóbal se registraron las mayores presiones de achaparramiento. El bajo rendimiento comparativo en San Juan se atribuye a que el trabajo se condujo fuera de época. En Baní las variedades fueron, más precoces.

CESDA88 fue la variedad con menor porcentaje de achaparramiento, superando en 44% al mejor sintético de la Pob.36, y se encuentra entre las variedades que presentaron mayor rendimiento, Cuadro 4.

La ecuación de regresión simple $Y = 5.40 - 0.028X$, trata de explicar el rendimiento en función del % de achaparramiento, sin embargo, esta no mostró diferencias significativas. Ambas variables son esenciales en nuestro Programa de Mejoramiento. Progreso en selección en rendimiento contra achaparramiento fue obtenido del ciclo 3 al 4 de la población 36, Cuadro 5, en la localidad de San Cristóbal, donde se evaluaron las familias que formaron el 4to. ciclo, en las demás localidades no se logró avance significativo.

¹Fitomejoradores y Agrónomo del Programa de Maíz y Sorgo, Apdo. Postal 24, San Cristobal, República Dominicana y Fitomejorador, Programa de Maíz, CENTA, El Salvador.

Cuadro 1. Variedades de polinización abierta evaluadas.

Variedades	Origen
1. CESDA88	Pob.24, 26, 28 x Francés Largo
2. Sint. Pob. 36 C3	Pob. 36 C2
3. Sint. Pob. 36 C4	Pob. 36 C3
4. Comp. 36 C4	Pob. 36 C4
5. Comp. Loyola-86	Pob.24, 26, 28 x Francés Largo
6. UNPHU-301C	Across 7728 x Francés Largo
7. UNPHU-304C	NB-6 x CESDA-88
8. Francés Largo	Variedad Local

Cuadro 2. Cuadrados medios de las variables evaluadas en diferentes ambientes de Centro América y El Caribe en el invierno 1992.

Fuente	Rend.	% Achap.	Flor.
Repeticiones	0.11	108.10	1.09
Localidades	52.01**	1474.40**	382.01**
Variedades	1.29*	358.71**	8.16**
L x E	1.03*	338.45**	2.56**
Error	0.57	72.88	1.18
C.V. (%)	16.17	32.03	1.85

** y * diferencias significativas al 1 y 5% respectivamente.

Cuadro 3. Medias de las variables evaluadas a través de localidades.

Localidades	Rend. (t/ha)	Achap (%)	Días flor
San Andrés	5.03	**	61
San Cristóbal	6.30	30.07	59
San Juan	2.78	31.06	61
Baní	4.91	18.84	54
Luperón	4.38	**	**

Cuadro 4. Medias de las variedades evaluadas en diferentes ambientes de Centro América y El Caribe.

Variedades	Achap.(%)	Rend.(t/ha)	Días a Flor
CESDA88	15.6	4.75	58
Sint. Pob. 36 C3	26.3	4.81	58
Sint. Pob. 36 C4	22.4	4.22	95
Comp. 36 C4	27.6	4.81	59
Comp. Loyola-86	32.6	4.79	58
UNPHU-301C	31.1	4.63	60
UNPHU-304C	30.2	5.03	60
Francés Largo	27.4	4.41	59
LSD $\alpha=0.05$	6.0	0.66	0.8

Cuadro 5. Medias de rendimiento (t/ha) y achaparramiento (%) de las variedades evaluadas a través de localidades .

Variedad	Baní		SC	
	Rend	Achap	Rend	Achap
CESDA88	4.77	10.86	6.50	21.00
Sint 36C3	5.32	5.48	5.49	35.60
Sint 34C4	4.71	12.22	6.65	18.99
Comp 36C4	5.59	11.30	6.06	28.26
Loyola-86	4.78	26.82	6.40	42.70
UNPHU301C	5.05	22.85	5.92	31.09
UNPHU304C	5.31	30.44	6.86	30.43
Francés L	3.74	30.74	6.53	32.52
LSD $\alpha=0.05$	1.50	10.92	1.05	11.38
C.V. (%)	20.74	39.42	11.30	25.72

Variedad	SJM		SA	LU
	Rend	Achap	Rend	Rend
CESDA88	3.32	14.95	5.03	4.12
Sint 36C3	3.22	37.80	5.24	4.79
Sint 34C4	2.49	36.10	5.15	4.15
Comp 36C4	2.58	43.35	5.08	4.72
Loyola-86	2.62	28.30	5.46	4.66
UNPHU301C	2.58	39.43	5.57	4.01
UNPHU304C	2.93	29.36	5.57	4.50
Francés L	2.50	18.93	5.17	4.14
LDS $\alpha=0.05$	0.71	11.35	1.23	0.76
C.V. (%)	17.45	24.85	16.63	11.84

CONCLUSIONES

1. CESDA88 fue la variedad más sobresaliente, pues obtuvo el mayor nivel de tolerancia al achaparramiento y estuvo entre las más rendidoras en las localidades evaluadas.
2. Avances en selección se observó en la población 36 sólo en la localidad de San Cristóbal, sugiriendo esto que es imprescindible la evaluación de las familias en el mayor número de localidades posibles.
3. Análisis de regresión mostró que la incidencia de achaparramiento (evaluado alrededor de dos semanas después de la floración) no afectó significativamente el rendimiento en grano.

4. De acuerdo a los resultados anteriores el Proyecto de Achaparramiento en maíz amarillo ha decidido continuar sus actividades con la población CESDA-88.

REFERENCIAS

Ortiz, J., F. Navarro y R. Celado. 1993. Mejoramiento genético del ciclo 4 de la Pob. 36 para resistencia al achaparramiento. En Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, VOL. 4 (1993), p. 76-78.

Comalat, P. y J. Ortiz. 1992. Evaluación de Variedades e Híbridos del Programa UNPHU de Mejoramiento. XXVIII Reunión Sociedad Caribeña de Cultivos Alimenticios. 9-12 Agosto 1992, Santo Domingo, República Dominicana.

Navarro, F. y J. Ortiz. 1992. Caracterización de Cultivares de Maíz Dominicanos. XXVIII Reunión Sociedad Caribeña de Cultivos Alimenticios. 9-12 Agosto 1992, Santo Domingo, República Dominicana.

Evaluación del Tercer Ciclo de Selección Recurrente en dos Poblaciones de Maíz (*Zea mays* L.) para Tolerancia a Pudrición de Mazorca

A.L. Pixley¹, C. Calderón¹, C. Salas² y K. Jiménez²

RESUMEN

Durante el año de 1991 en las localidades de Danlí, Honduras y Guápiles, Costa Rica se evaluaron 225 líneas S₁ de las poblaciones RPM x Tuxpeño C17 y Los Diamantes 8043. El objetivo de esta evaluación consistió en determinar el progreso durante tres ciclos de selección recurrente en líneas S₁ para especificar rendimiento y pudrición de mazorca. También reducir altura de planta, tallo y raíz y otras importantes poblaciones tales como Los Diamantes 8043 y RPM Tuxpeño C17.

Se diseñó un látice simple de 15 x 15 con 2 repeticiones y densidad de 53.333 pl/ha fueron usados. Los resultados obtenidos de este análisis combinado de rendimiento y pudrición de mazorca en ambas localidades, indicaron que el rendimiento se incrementó anualmente en un promedio de 261 y 385 kg/ha para las poblaciones de Los Diamantes 8043 y RPM x Tuxpeño C17, respectivamente y pudrición de mazorca se redujo anualmente en un promedio de 4.3% para ambas poblaciones.

Las regiones del Litoral Atlántico de Centro América reciben precipitaciones anuales que exceden los 3000 mm anuales. En dichas regiones las precipitaciones arriba descritas favorecen el desarrollo de hongos que ocasionan una alta incidencia de la enfermedad denominada pudrición de la mazorca, que es provocada principalmente por *Diplodia* y *Fusarium* sp. Esta situación ocasiona grandes pérdidas en la producción de maíz y puede ser nocivo para la salud humana porque produce micotoxinas (Jiménez *et al.*, 1989). Para resolver el problema en forma parcial se esta mejorando las poblaciones RPM x Tuxpeño C17 y Los Diamantes 8043, las cuales poseen un grado aceptable de tolerancia a pudrición de la mazorca, para conformar cultivares tolerantes a esta enfermedad, ya que se constituye en un factor de importancia económica por ocasionar pérdidas post-madurez fisiológica.

El objetivo de este trabajo fue de evaluar líneas S₁ de las dos poblaciones arriba indicadas, en dos ambientes para determinar ganancias anuales y otros aspectos genético-ambiental que sirvan como criterio para afinar la metodología que se esta usando.

¹Fitomejoradores de maíz, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica; ²Investigadores de la Universidad de Costa Rica.

MATERIALES Y METODOS

Los materiales genéticos usados fueron líneas S₁ provenientes de las Poblaciones RPM x Tuxpeño C17 y Los Diamantes 8043, del tercer ciclo de mejoramiento para tolerancia a la pudrición de mazorca. El método de mejoramiento usado en las poblaciones arriba citadas, es el de selección recurrente de líneas S₁. Como criterio de selección se utiliza un índice de selección aditivo (Barreto *et al.*, 1991). Se aplicó una presión de selección del 20% y del 3.5%, para continuar con el proceso de mejoramiento y para formar variedades sintéticas, respectivamente.

El 20% de presión de selección de líneas S₁ es utilizado para implementar la etapa de recombinación. Se generan (Est. Exp. Fabio Baudrit Moreno, Costa Rica, UCR) alrededor de 300 familias de hermanos completos. Para ello se siembran surcos de 5 m de largo, separados por 0.75 m, con espaciamento entre plantas (2 por golpe de siembra) de 0.5 m. Se cosechan 300 mazorcas de un mínimo de 300 granos, que constituyen una muestra representativa de las líneas sembradas y por ende de las poblaciones que representen.

Las 300 familias de hermanos completos sirven para generar (Est. Exp. Fabio Baudrit Moreno, Costa Rica, UCR) 225 líneas S₁. Las 225 líneas S₁ son utilizadas para llevar a cabo la etapa de evaluación. Se utiliza un diseño de látice simple de 15x15, con dos repeticiones por localidad (Danlí, Honduras, SRN y Est. Exp. Los Diamantes, Costa Rica, MAG). Se siembra un surco por línea. Cada surco consta de 5 m de largo; la separación entre surcos es de 0.75 m; se separan los golpes de siembra (2 plantas por golpe) por 0.5 m, obteniendo de esta manera una densidad de siembra de 53,333 pl/ha. Para cada población se hizo un análisis de varianza para las variables de interés, por localidad y combinado. Las variables de interés para este estudio, fueron: pudrición de mazorca y rendimiento de grano ajustado al 15% de humedad (no obstante se mejoran simultáneamente días a flor-antesis, acame de raíz y tallo, altura de planta, cobertura de mazorca y otras enfermedades económicas).

Los cuadrados medios de los genotipos y del error intrabloque fueron utilizados para hacer análisis más profundos e inferencias sobre los mismos. En base a ellos, para las dos poblaciones, se calcularon varianzas genética y fenotípica, heredabilidad en el sentido amplio, y ganancias por año para las variables de interés en este estudio.

RESULTADOS Y DISCUSION

En los Cuadros 1 y 2, los cuadrados medio de rendimiento y pudrición de mazorca son significativos al 0.01 de probabilidad para las variables genotipos e interacción genotipos x localidades. En base a lo indicado en el párrafo anterior se puede inferir que los genotipos de las dos poblaciones tuvieron un comportamiento diferencial en los ambientes donde fueron evaluados de manera que estas diferencias facilitan la selección de los genotipos superiores o sea que se logra discriminar en contra de genes recesivos-deletereos. Estos resultados concuerdan con lo que indican Salas y Jiménez (1983), Pixley (1984 y 1989), Sanchez (1990) y Hallauer y Miranda (1981).

Para la variable genotipos x localidades, los cuadrados medios para rendimiento y pudrición de mazorca tuvieron una significancia al 0.01 de probabilidad. Esto indica que los ambientes donde fueron evaluadas las familias son contrastantes de manera que la varianza genética se disminuye favoreciendo un incremento en la varianza de la interacción genotipo x medio ambiente (Comstock and Moll, 1963). Esto concuerda con la significancia al 0.01 de probabilidad de los genotipos e indica que hubo respuestas diferenciales de los mismos. Es importante señalar que se puede avanzar rápido, según Según Comstock y Moll (1963), y obtener ganancias superiores al haber mayores interacciones entre genotipo y medio ambientes, de manera que sería conveniente evaluar en un mayor número de localidades que las actuales, ya que de acuerdo a DeLacy *et al.* (1990), se produce mucha variabilidad para rendimiento. Por otro lado según Weber y Wricke (1990), cuando existe interacción GxE, se explota la acción epistática en detrimento de la aditiva para el carácter rendimiento. Esto es un factor adicional que favorece la selección de genotipos superiores.

Al comparar las medias de rendimiento se interpreta que Los Diamantes 8043 es de mayor producción que RPM x Tuxpeño C17. La población Los Diamantes 8043 tiene tres ciclos de mejoramiento para rendimiento, mientras que RPM x Tuxpeño C17 tiene

más de tres ciclos de mejoramiento para este caracter, por lo tanto la diferencia de rendimiento enmarcado en los Cuadros 1 y 2, no se debe en su totalidad a la mejora a que estan sometidas estas poblaciones, sino que una población es genéticamente mas rendidora que la otra. Al confrontar el porcentaje de pudrición de mazorca de las dos poblaciones (Cuadros 1 y 2), se infiere que RPM x Tuxpeño C17 es mas tolerante a la pudrición de mazorca que Los Diamantes 8043. Este comportamiento es correspondiente, ya que se ha estado mejorando el RPM x Tuxpeño C17 a base de líneas S₁ por un número mayor de ciclos de selección que Los Diamantes 8043. El mismo comportamiento indica la bondad de utilizar una metodología que involucra endogamia (Córdoba, 1986; Hallauer y Miranda, 1981).

Los Cuadros 3 y 4 muestran una alta varianza genética y fenotípica estimadas para rendimiento de las dos poblaciones.

Cuadro 1. Estadísticos derivados del análisis combinado para rendimiento y pudrición de mazorca de la Población Los Diamantes 8043. Danlí, Honduras y Est. Exp. Los Diamantes, Costa Rica. 1991.

Variable	CM	
	Rendimiento (Kg/ha)	Pudrición Mz (%)
Genotipos	**	**
Genotipos x Loc	**	**
CV	28.94	45.11
Media	3535.28	21.75

** Significancia al 0.01 de probabilidad.

Cuadro 2. Estadísticos derivados del análisis combinado para rendimiento y pudrición de mazorca de la Población RPM x Tuxpeño C17. Danlí, Honduras y Est. Exp. Los Diamantes, Costa Rica. 1991.

Variable	CM	
	Rendimiento (Kg/ha)	Pudrición Mz (%)
Genotipos	**	**
Genotipos x Loc	**	**
CV	27.97	49.93
Media	2652.00	16.12

** Significancia al 0.01 de probabilidad.

Esta respuesta corresponde a uno de los objetivos de la selección recurrente que consiste en mantener una buena variabilidad genética a través muchos ciclos de practicar esta metodología (Hayes y Garber, 1919). Sin embargo la diferencia entre la varianza genética estimada de Los Diamantes 8043 es mayor que la correspondiente a los mismos parámetros de RPM x Tuxpeño C17.

Cuadro No. 3. Estimados de varianza genética (σ_r^2) y fenotípica (σ_p^2), heredabilidad (H) y ganancia por año (Δ_y) para rendimiento y pudrición de mazorca de la Población Los Diamantes 8043. Danlí, Honduras y Est. Exp. Los Diamantes 8043. 1991.

Parámetro	Rendimiento (Kg/ha)	Pudrición Mz (%)
σ_r^2	171,679.15	0.0052
σ_p^2	433,376.15	0.0149
H	0.40	0.35
Δ_y	260.79	-4.26

Cuadro No. 4. Estimados de varianza genética (σ_r^2) y fenotípica (σ_p^2), heredabilidad (H) y ganancia por año (Δ_y) para rendimiento y pudrición de mazorca de la Población RPM x Tuxpeño C17. Danlí, Honduras y Est. Exp. Los Diamantes 8043. 1991.

Parámetro	Rendimiento (Kg/ha)	Pudrición Mz (%)
σ_r^2	253,251.00	0.005
σ_p^2	372,852.00	0.0135
H	0.63	0.37
Δ_y	385.27	-4.3

Esta reacción puede deberse a que hubo una mayor interacción de la primera población con el medio ambiente que con la segunda población, de manera que en el primer caso la varianza genética estimada se redujo en beneficio de la varianza fenotípica estimada,

pero para el segundo caso hubo menos interacción de los genotipos con el medio ambiente, por lo que no se marcó mucha diferencia entre ambos parámetros (Comstock y Moll, 1963).

Esta respuesta permite seleccionar genotipos superiores con mayor facilidad en la Pob. Los Diamantes 8043 que en la Pob. RPM x Tuxpeño C17 (Pooni, 1990). Estos comportamientos tuvieron su efecto en la heredabilidad (varianza genotípica dividida entre la varianza fenotípica) siendo esta más pequeña en Los Diamantes 8043 que en RPM x Tuxpeño C17 y se refleja también en las ganancias anuales estimadas, respectivamente. Aún así estas ganancias son relativamente buenas.

Para pudrición de mazorca (Cuadros 3 y 4) y las varianzas genotípicas y fenotípicas estimadas, muestran grandes diferencias y como la varianza fenotípica fue mucho mayor que la varianza genotípica la heredabilidad de este carácter fue muy baja, por esta razón es importante involucrar endogamia en el proceso (Hallauer y Miranda, 1981; Córdoba, 1986). Esta metodología ha permitido reducir la pudrición de la mazorca y por ende aumentar la tolerancia al embate de esta enfermedad.

CONCLUSIONES

1. Se está incrementando el rendimiento a un ritmo anual de 261 y 385 Kg/ha, para las Pobs. de Los Diamantes 8043 y RPM x Tuxpeño C17, respectivamente.
2. Se está reduciendo la pudrición de mazorca a razón de 4.3 por ciento anual en ambas poblaciones.
3. Para explotar en mayor grado la interacción genotipo x ambiente, que favorecería avances más rápidos, se debería considerar evaluar en por lo menos dos localidades en Honduras y en Costa Rica. Como la heredabilidad de pudrición de mazorca es baja se podría pensar en evaluar sobre líneas S_2 en lugar de S_1 , para lograr de esta manera mayores ganancias en la reducción de este carácter. Otra posibilidad es introducir los extractos superiores de ambas poblaciones, lo cual ofrecería mayor rendimiento como aporte de Los Diamantes 8043 y grados superiores de tolerancia a la pudrición de mazorca, aportado por RPM x Tuxpeño C17.

REFERENCIAS

Barreto, H. J., J. A. Bolaños y H. S. Córdoba. 1991. Programa Índice de Selección. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo-Programa Regional para Centro América y El Caribe. Guatemala, Guatemala.

Comstock, R.E. and R. H. Moll. 1963. Genotype environment interactions. p. 164-196. In W. D. Hanson and H. F. Robinson (ed.). Statistical and Plant Breeding. National Academy of Sciences-National Research Council. Washington, D.C., USA.

Córdoba, H. S. 1986. Mejoramiento integral para cobertura, pudrición de mazorca y tallo y rendimiento en los complejos ermooplásmicos de maíz (*Zea mays* L.) de CIMMYT. CIMMYT, México.

DeLacy, I. H., R. L. Eisemann y M. Cooper. 1990. The importance of Genotype-by-environment interaction in regional variety trials. p 287-300. In M. S. Kang (ed.). Genotype-By- Environment Interaction and Plant Breeding. Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, USA.

Hallauer, A. R. y T. B. Miranda. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press. Ames, IA. pp 159-204.

Hayes, H. K. and R. J. Garber. 1919. Synthetic production of high protein corn in relation to breeding. J. Am. Soc. Agron. 11:308-318.

Pixley-Sinclair, A. L. 1984. Evaluation of cycles of improvement of an exotic x adapted maize (*Zea mays* L.) population. MSc. Thesis, University of Nebraska-Lincoln.

Pixley-Sinclair, A. L. 1989. Recurrent selection for yield-index in normal and dwarf sub-populations. p 120-187. In A. L. Pixley-Sinclair. (Mexican super dwarf x Chinese) x Elite composite: I. Allozyme assays of germplasms and derived populations. II. Recurrent selection for yield-index in normal and dwarf sub-populations. Ph.D.dissertation, University of Nebraska-Lincoln.

Pooni, H. S. 1990. Genotype x Environment interaction: Its analysis and integration in breeding programs. p 372-385. In M. S. Kang (ed.). Genotype By Environment Interaction and plant Breeding. Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, USA.

Salas, C. A. y K. Jiménez. 1983. Día de Demostración de maíz. Programa de Investigación en Cereales de la Estación Experimental Fabio Baudrit M. Alajuela, Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 8 p.

Sánchez, G. 1990. Evaluación de líneas S1 de Maíz (*Zea mays* L.) tolerantes a la pudrición de mazorca causada por *Fusarium moniliforme*. Tesis Lic en Ing. Agr., Universidad de Costa Rica.

Weber, W. E. y G. Wricke. 1990. Genotype x Environment Interaction and Its Implications in Plant Breeding. p 1-19. In M. S. Kang (ed.). Genotype By Environment Interaction and Plant Breeding. Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, USA.

Evaluación de Nueve Variedades Sintéticas bajo Mejoramiento para Pudrición de Mazorca en Once Localidades de Centro América

C.A. Calderón¹, L. Pixley¹, K. Jiménez² y C.A. Salas²

RESUMEN

La pudrición de mazorca causada por *Diplodia* y *Fusarium sp.* es un factor adverso biótico que causa grandes pérdidas en rendimiento en Centro América. La resistencia genética es una alternativa para evitar parcialmente esas pérdidas. A través del Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe (PRM) se viene efectuando mejoramiento genético basado en la selección recurrente de líneas S₁ en dos poblaciones de maíz. Durante los dos últimos ciclos se han generado variedades sintéticas de Los Diamantes 8043 y RPM x Tuxpeño C17. En 1991 se evaluaron 10 cultivares en 11 localidades de Centro América: 8 variedades sintéticas de esas poblaciones, una enviada por el CIMMYT y el híbrido B-833 como testigo, todos de endosperma blanco. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, en donde las principales variables estudiadas fueron: rendimiento, porcentaje de pudrición de mazorca y mazorcas descubiertas, días a flor, porcentaje de acame de raíz y tallo. El análisis combinado mostró diferencias significativas al 0,01 de probabilidad para rendimiento, pudrición de mazorca, mazorcas descubiertas, días a flor y acame de raíz. En rendimiento se encontró un comportamiento similar del B-833 (5.17 t/ha) con las siguientes variedades sintéticas: Sintético Diamantes (1990, Loc. Honduras), Sint. RPM x Tuxp C17 (1990, 3 locs, 2 de Costa Rica y 1 de Honduras), Sint. RPM x Tuxp C17 (2 loc. de Costa Rica), Sint. Honduras, Sint. Diamantes (1990, 3 locs, 2 de Costa Rica y 1 de Honduras) y Sint. Diamantes (Loc. Honduras) con 5.33, 5.09, 4.91, 4.89, 4.88 y 4.87 t/ha, respectivamente. En el porcentaje de pudrición de mazorca el B-833 tuvo el valor más bajo (8.3 %) y con un valor similar el Sint. RPM x Tuxp C17 (2 locs. de C.R) (9.0%). Para las localidades se presentaron altos valores de pudrición de mazorca en: San Andrés A (San Salvador), Guápiles (Costa Rica) y Barú (Panamá) con 24.2, 23.4 y 19.1%, respectivamente.

En la Costa Atlántica de muchos países de Centro América, los agricultores siembran maíz bajo condiciones de alta precipitación y lo dejan en el campo por largos períodos, después de haber alcanzado la madurez fisiológica. Lo anterior ocasiona deterioro de la producción causado por la pudrición de mazorca por *Diplodia* y *Fusarium sp.* (Córdova 1991), con pérdidas anuales hasta de 20%. La pudrición de mazorca puede presentarse en el campo en pre-cosecha

y pos-cosecha, ocasionando grandes pérdidas al agricultor (Jiménez *et al.*, 1990).

El Programa Regional de Maíz (PRM) desde hace varios años viene mejorando el maíz para tolerancia a la pudrición de la mazorca. Este proyecto se inició con dos poblaciones: Los Diamantes 8043 y RPM x C17, utilizando el método de selección recurrente de líneas S₁. La selección de materiales resistentes constituye un paso fundamental hacia la definición de factores apropiados de control de esta enfermedad, además la selección recurrente permitió identificar familias que coincidieron en sus atributos agronómicos de perfecta cobertura y pudrición de mazorca y alto rendimiento, los cuales dieron origen a sintéticos que podrán ser utilizados como variedades de polinización libre o como fuentes de buena cobertura y resistencia. Jiménez *et al.* (1990) obtuvieron un diferencial de selección para pudrición de mazorca de 139 y 141% en RPM x Tuxp C17 y Los Diamantes 8043, respectivamente. Córdova (1990) encontró correlación negativa ($r=0.48$) entre rendimiento y pudrición de mazorca. No existió asociación entre rendimiento y cobertura de mazorca en híbridos de maíz para 15 ambientes de Centro América. Las variedades sintéticas son más adaptables a las condiciones del medio ambiente en zonas marginales que los híbridos simples y dobles, debido a su mayor variabilidad, por lo tanto pueden tener mayor adaptabilidad que los híbridos en áreas de precipitaciones y suelos de gran variabilidad.

Se espera que los resultados nos darán variedades sintéticas e híbridos de buena cobertura y tolerancia a pudrición de tallo y mazorca. Con base en esto el objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento respecto al rendimiento y pudrición de mazorca, de las variedades sintéticas generadas en 1988-1991 por el PRM.

MATERIALES Y METODOS

Para este estudio se evaluaron dos variedades sintéticas del primer ciclo y 6 del segundo ciclo de mejoramiento para resistencia a pudrición de mazorca en Los Diamantes 8043 y RPM x C17 además de una

¹Ings. Agróns. Estación Experimental Los Diamantes, Dirección de Investigaciones Agrícolas del Ministerio de Agricultura y Ganadería; ²Programa de Cereales, Estación Experimental Fabio Baudrit M. de la Universidad de Costa Rica.

Cuadro 1. Sintéticos tolerantes a pudrición de mazorca evaluadas en Centro América durante 1991.

Ent	Nombre	Color
1	Diamantes 8043 (1990 Loc. Honduras)	Blanco
2	RPM x Tuxp C17 (1990 Loc. Honduras)	Blanco
3	Diamantes 8043 (1990 Loc. Honduras)	Blanco
4	RPM x Tuxp C17 (1990 2 loc. de C.R.)	Blanco
5	Diamantes 8043 (1990 2 C.R., 1 Hond)	Blanco
6	RPM x Tuxp C17 1990 (2 C.R., 1 Hond.)	Blanco
7	Diamantes 8043 1989 (2 locs. de C.R)	Blanco
8	RPM X Tuxp C17 1989 (2 locs. de C.R)	Blanco
9	Sintético Honduras	Blanco
10	B-833	Blanco

variedad sintética proveniente del CIMMYT y el híbrido B-833 (Dekalb) como testigo, todas de endosperma blanco (Cuadro 1). Se evaluaron cuatro ensayos en Costa Rica, dos en Guatemala, dos en El Salvador, dos en Honduras y uno en Panamá. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones por localidad. La unidad experimental constó de 4 tro surcos de 4 m de largo, 75 cm entre surcos cm entre plantas, con 2 plantas por sitio de siembra, para una densidad de 53.333 pl/ha. Las variables experimentales evaluadas fueron: rendimiento (kg/ha), porcentaje de pudrición de mazorca, porcentaje de mazorcas descubiertas, porcentaje de acame de raíz y tallo y días a flor.

Se cálculo el análisis de varianza de todas las variables de interés (por localidad y en base a un combinado a través de las localidades). Para las comparaciones entre medias se utilizó la prueba de rango múltiple de Duncan al 5% de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 se presentan los estadísticos estimados en el análisis de varianza para rendimiento y pudrición de mazorca por localidad. Respecto al rendimiento, la localidad que obtuvo el coeficiente de variación más bajo fue Alajuela, Costa Rica, con 9.69 % y en pudrición de mazorca Guanacaste, Costa Rica, con 16.50 %, que estuvieron dentro del rango de confiabilidad. Para rendimiento las medias reflejan un comportamiento aceptable para todas las localidades excepto la de Guácimo, Costa Rica y la primera época de siembra de San Andrés, El Salvador, posiblemente hubo estas respuestas por la presencia de una alta incidencia del inóculo en estas localidades.

En pudrición de mazorca hubo respuestas satisfactorias para todas las localidades excepto la de

Guápiles, Costa Rica; San Andrés A, El Salvador y Barú, Panamá, en donde se superó el 12.5% considerado como máximo permisible. Estos resultados conciden con lo encontrado por Córdova, 1990.

Los promedios de las variables estudiadas por localidad se presentan en el Cuadro 3. Las localidades que tuvieron un mejor rendimiento fueron: Guanacaste (Costa Rica) y Alajuela (Costa Rica) con 6,607 y 6,305 kg/ha, respectivamente.

En pudrición de mazorca las localidades de mayor incidencia fueron: San Andrés (El Salvador), Guápiles (Costa Rica), y Barú (Panamá) con 24.18, 23.41 y 19.14 %, respectivamente. En el Cuadro 4, se presentan los estadísticos estimados en el análisis de varianza combinado para rendimiento y otras características agronómicas que fueron consideradas de interés en este trabajo.

Cuadro 2. Estadísticos estimados en el análisis de varianza para rendimiento en 10 cultivares de maíz en 11 localidades de Centro América. 1991.

Localidad	% C.V.	MDS	Media	F = 0.05
Rendimiento				
Guanacaste, CR	16.30	12.65	6607	NS
Alajuela, CR	9.69	886.00	6305	**
San Andrés B, ES	14.61	1218.00	5746	NS
San Jerónimo, GU	13.33	1091.00	5698	**
Omonita, Hond.	22.40	1727.00	5313	NS
Danlí, Hond.			5242	
Baru, Pan.	1398.00	770.00	4447	*
Cuyuta, GU	10.54	3398.00	4277	*
Guápiles, CR	19.92	1172.00	4012	NS
Guácimo, CR	21.95	11.31	2522	NS
San Andrés A, ES	22.66	716.00	2141	*
Pudrición de Mazorca				
San Andrés A, ES	23.09	14.44	24.18	*
Guápiles, CR	24.63	14.08	23.41	NS
Baru, Pan.	37.22	3.81	19.14	*
Cuyuta, GU	36.80	9.43	11.52	NS
Guácimo, CR	45.62	9.96	1.0.	NS
Guanacaste, CR	16.50	3.49	7.68	NS
San Jerónimo, GU	58.6-	5.68	5.41	NS
San Andrés B, ES	78.56	4.76	4.21	NS
Alajuela, CR	28.79	4.61	3.98	NS
Danlí, Hond.			2.19	
Omonita, Hond.	181.35	5.41	0.58	NS

La interacción tratamiento x ambiente, fue altamente significativa para rendimiento, pudrición de mazorca, acame de raíz y días a flor, lo que indica que se presentó una diferencia de respuesta en el comportamiento de estas variables en algunas localidades (Jugenheimer, 1985 y Weber y Wricke, 1990). Para las variables mazorcas descubiertas y acame de tallo las diferencias fueron significativas al 0.05 de probabilidad. Cabe recalcar que las medias obtenidas para mazorcas podridas, mazorcas descubiertas, acame de raíz y tallo fueron bajas, lo que indica que no constituyen un problema serio en estas variedades sintéticas.

En el Cuadro 4, se presentan las medias de los 10 genotipos y los valores de sus características agronómicas evaluadas en los once ambientes. En rendimiento sobresalieron seis variedades sintéticas: Sint. Diamantes 8043 (1990, Loc Honduras), Sint. RPM x Tuxp C17 (2 locs. de C.R y 1 de Honduras), Sint. RPM x Tuxp C17 (2 loc. de C.R.), Sint. Honduras, Sint. Diamantes 8043 (1990, 2 locs. de C.R. y 1 de Honduras) y Sint. Diamantes 8043 (2 Loc.de C.R.) con 5.329, 5.091, 4.905, 4.886, 4.883 y 4.866 kg/ha, respectivamente.

Cuadro 3. Promedios de características agronómicas por localidad de diez cultivares de maíz evaluados en Centro América. 1991.

País	Localidad	Rend. kg/ha	Días flor	Pud. Mz. %	Mz. Desc. %	Acame Raíz %	Acame Tallo %
Costa Rica	Guanacaste	6607 a	49 g	7.68 de	6.48	56.45 a	0.08
Costa Rica	Alajuela	6305 a	65 b	3.98 fg	0.72	7.44 d	3.03
El Salvador	San Andrés (B)	5746 b	57 d	4.21 fg	2.86	0.07 e	0.56
Guatemala	San Jerónimo	5698 bc	73	5.41 ef	2.96	16.36 c	3.32
Honduras	Danlí	5642 bc	59 c	2.19 gh	5.83	1.31 e	3.76
Honduras	Omonita	5313 c	56 e	6.58 h	3.77	1.45 e	0.92 b
Panamá	Barú	4744 d	61 a	19.14 b	3.14	1.11 e	0
Guatemala	Cuyuta	4277 e	51 f	11.52 c	5.26	22.80 b	2.80
Costa Rica	Guápiles	4012 e	60 d	23.41 a	0.87	5.91 d	0
Costa Rica	Guácimo	2522 f	56 e	10.02 cd	2.36	0	0
El Salvador	San Andrés (A)	2141 g	58 d	24.18 a	3.24	0.32 e	3.81

Cuadro 4. Estadísticos estimados en andeva combinado para algunas características agronómicas estudiadas en la evaluación de variedades sintéticas en 11 localidades de Centro América. 1991.

Fuente	Rend. kg/ha	% mz. podr.	% mz. desc.	% acame tallo	% acame raíz	Días a florac.
Localidad	**	**	**	**	**	**
Tratamiento	**	NS	**	*	**	**
Loc. x Trat.	**	**	NS	NS	**	**
DMS	353.19	2.52	1.33	1.07	9.05	0.60
CV %	17.43	36.92	73.76	136.22	73.57	2.48
Media	4824.20	10.21	3.91	1.42	9.62	57.85

Cuadro 5. Rendimientos y características agronómicas de 10 cultivares en once localidades de Centro América. 1991.

Tratamientos	Rend. kg/ha	Días flor	Pud. mz. %	Mz. Desc. %	Acame Raíz %	Acame Tallo %
Diamantes 8043 1990, Loc. Hond.	5329 a	59 b	12.06 a	3.42	6.31 c	0.82
B-833 (T)	5172 a	61 a	8.29 b	4.57	12.09 ab	1.61
RPM x Tuxp C17 1990, 3 Loc. C.R.	5091 ab	56 ef	10.06 ab	4.89	15.53 a	1.98
RPM x Tuxp C17 1990, 2 Loc. C.R.	4905 ab	57 d	8.98 c	2.1	10.76 ab	2.13
Sint. Hond.	4886 ab	56 f	9.36 ab	3.68	11.87 ab	1.98
Diaman. 8043 1990, 3 Loc.	4883 ab	59 b	10.77 ab	2.98	7.28 c	2.42
Diaman. 8043 1990, 2 Loc. C.R.	4866 ab	58 c	10.16 ab	4.09	7.12 c	1.78
RMP x Tuxp C17 1990, Loc. Hond.	4778 b	55 de	10.59 ab	2.10	9.24	1.31
RPM x Tuxp C17 1989, 2 Loc. C.R.	4214 c	57 de	10.77 ab	3.38	13.11 ab	1.31
Diaman. 8043 1989, 2 Loc. C.R.	4110 c	58 bc	11.10 ab	2.98	9.62 bc	1.40
DMS	353.19	0.60	2.52	1.33	4.03	1.04

Donde comparados con el híbrido B-883 (5.172 kg/ha) mostraron un compartimiento similar. En pudrición de mazorca los valores obtenidos fueron bajos, no se presentó una marcada diferencia entre cultivares. La variedad sintética que obtuvo el valor más bajo fue la RPM x Tuxp C17 (1990, 2 loc de C.R) con 8.98 % similar al B-833 (8.29%), y con el valor más alto Los Diamantes 8043 (1990, Loc. Honduras) (12.06%). De manera que se capitaliza en la mejora de estos caracteres al utilizar el método de selección recurrente en base a líneas S1 (Jenkins, 1940, Hallauer y Miranda, 1981 y Córdova et al, 1985). En acame de raíz el Sint. RPM x Tuxp C17 (1990 3 loc.) presentó el valor más alto con 15,53 %, seguida de el Sint. RPM x Tuxp C17 (2 loc de C.R.) con 13.11%.

En el Cuadro 5 se presentan las comparaciones por localidad de rendimiento y de pudrición de mazorca de las mejores variedades sintéticas por localidad con el híbrido B-833. Lo que se destaca aquí es que las variedades sintéticas no fueron superadas por el híbrido comercial B-833 en rendimiento.

CONCLUSIONES

1. Esta evaluación permitió determinar 6 variedades sintéticas de buen rendimiento para las once localidades estudiadas, con similar rendimiento el testigo (B-833). Una de ellas Los Diamantes 8043 (1990, 2 loc. de C.R.) presentó altos valores de pudrición en Guápiles (Costa Rica) y Cuyuta (Guatemala).
2. Los valores promedios obtenidos en pudrición de mazorca a través de las once localidades fueron bajos, el sintético RPM x Tuxp C17 (1990, 2 loc de C.R)

resultó tener el valor más bajo (8.29%) y el más alto Los Diamantes 8043 (1990, loc. Honduras) con 12.06%.

3. En tres localidades se presentó alta incidencia de pudrición de mazorca a saber: Barú (Panamá), Guápiles (Costa Rica) y San Andrés A (El Salvador).

4. Se recomienda evaluar estas variedades sintéticas junto con las del tercer ciclo de selección para determinar si hay avances.

REFERENCIAS

- Córdova, H.S. 1990. Respuesta diferenciales para rendimiento de híbridos de maíz evaluadas en ambientes contrastantes de Latinoamérica XXXVI Reunión Anual del PCCMCA Panamá.
- Córdova, H.S. 1991. Desarrollo y mejoramiento de germoplasma para resistencia a factores adversos bióticos y abióticos, producción de semilla estratégicas y logros 1986-1991. Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe. 113 p.
- Jugenheimer, W. R. 1985. Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Editorial Limusa, 841 p.
- Jiménez, K., et al. 1991. Avances del proyecto colaborativo regional de mejoramiento integral para cobertura, pudrición de mazorca y rendimiento en maíz. Costa Rica. Programa Regional para Centro América, Panamá y El Caribe. 113 p.
- Weber, W.F. and Wricke, G. 1990. Genotype by environment interaction and its implication in plant breeding. Symposium on genotypes by environment interaction and plant breeding. Ed manjit, S Kang, LSU, Agricultural Center.





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

Respuesta del Maíz a la Siembra Intercalada con Canavalia a Distintas Epocas y Densidades

G. López¹, J.L. Zea², M. Fuentes², J. Pérez³, R. Gordón⁴, C. Mendoza¹ y J. Bolaños⁵

RESUMEN

No cabe duda que la inserción de leguminosas como abono verde dentro de los sistemas de producción de maíz es benéfica. El PRM ha venido evaluando tecnologías para intercalar simultáneamente leguminosas dentro del cultivo del maíz. *Canavalia ensiformis* ha mostrado buena adaptación para este tipo de asocio, reduciendo poco el rendimiento en comparación con monocultivo, pero compensando con producción de biomasa y fijación de N. Dentro de este contexto, en 1992 se establecieron 8 ensayos en diversas localidades de Centro América para evaluar distintas prácticas de asocio. Se evaluaron arreglos con 2 densidades de maíz (4.4 y 6.6 pl/m²), 3 fechas de siembra de canavalia (0, 30 y 60 días después de siembra del maíz, dds) y 2 densidades de canavalia (4.4 y 8.8 pl/m²) en un arreglo factorial incompleto con 3 repeticiones y otros tratamientos de interés local. Todos los tratamientos recibieron 100 y 40 kg/ha de N y P₂O₅/ha. A pesar que todos los tratamientos específicos variaron un poco de país a país, el análisis combinado permitió evaluar la respuesta a densidad de maíz y a la fecha de siembra del asocio, así como sus interacciones. Los resultados muestran una reducción neta de -0.25 t/ha sobre el monocultivo por el asocio simultáneo, pero ningún efecto en las siembras tardías. El efecto neto de aumentar las densidades de maíz (6.6 vs 4.4 pl/m²) fue positivo para monocultivo (+0.6 t/ha) y asocio tardío (+0.6 t/ha) pero negativo en asocio simultáneo (-1.41 t/ha). Densidades de 8.8 pl/m² de canavalia tienen poco efecto con fechas de siembra tardías, en particular a los 60 dds. Los resultados sugieren que aumentar la densidad de maíz e intercalar canavalia en asocio tardío tendrán un impacto positivo en la productividad de los sistemas de producción de maíz de la región.

No cabe duda que el asocio de leguminosas con cereales es una práctica benéfica desde muchos puntos de vista (Pieters, 1916; Ofori and Stern, 1987). En Centro América, la tradicional siembra de la *milpa* (maíz en asocio y/o relevo con *Phaseolus*) por pequeños productores constituye una variante de esta práctica muy extendida en la región. Con el asocio de varios cultivos, se procura disminuir riesgos, tener una mayor disponibilidad de alimentos por unidad de área, mejorar el control de la erosión del suelo y a la vez aumentar los ingresos en condiciones de baja tecnología. Los estudios en este campo destacan la

importancia de la época y densidad de siembra así como del arreglo espacial (Aidar y Vieira, 1975; Couto, 1976; Ofori and Stern, 1987).

Los beneficios del asocio de cereales con leguminosas incluyen aportación de nitrógeno 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 una posible reducción de plagas y enfermedades (Wade y Sánchez, 1983; Smyth *et al.*, 1991; Zea, 1992a, 1992b).

Desde 1989 el Programa Regional de Maíz (PRM) ha realizado experimentos regionales para evaluar 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 siembran simultáneamente con el cultivo (Zea, 1992a,b; Barreto *et al.*, 1991). De las leguminosas evaluadas en asocio temprano, *Canavalia ensiformis* presentó características agronómicas sobresalientes como siembra intercalada con maíz por su menor competencia con el maíz y menor variabilidad a través de los ambientes evaluados en comparación con mucuna y vigna (*Stizolobium deerengianum* y *Vigna unguiculata*) bajo las mismas condiciones (Zea, 1992a,b; Barreto *et al.*, 1991). Dado su hábito de crecimiento así como sus características morfológicas la canavalia es menos competitiva al intercalarla con el maíz, y además tiene una reputación de soportar ambientes con precipitación errática (Bernal y Jiménez, 1990).

En estos ensayos las evaluaciones se hicieron a densidades teóricas de maíz de 4.4 pl/m² (Zea, 1992a). Sin embargo, dado los resultados encontrados por Bolaños y Barreto (1991) sobre la importancia de de las bajas densidades de siembra en los componentes de rendimiento, una alternativa

¹Investigadores de Maíz, SRN, Honduras; ²Investigadores de Maíz, ICTA, Guatemala; ³Investigador de Maíz, CNIGB, Nicaragua; ⁴Investigador de Maíz, IDIAP, Panamá y ⁵Agrónomo Regional para Centro América y el Caribe, CIMMYT, Guatemala.

importante a evaluar era el asocio de leguminosas bajo una mayor densidad de maíz, así como la variación en la fecha y densidad de inserción de estas dentro del maíz. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de épocas de inserción de la canavalia dentro del maíz en referencia a la siembra del maíz (simultáneo y tardío), densidades de siembra de la canavalia (1 o 2 surcos en medio de los surcos de maíz) y densidades de siembra del maíz (4.4 y 6.6 pl/m²) en comparación con el sistema de monocultivo bajo las mismas condiciones.

MATERIALES Y METODOS

Los ensayos se establecieron en la estación experimental del ICTA en Jutiapa y La Máquina, en Guatemala; en campos de agricultores en Cuyamapa y Siguatepeque, en Honduras; y en las estaciones experimentales del CNIGB de Santa Rosa y San Cristobal, en Nicaragua. Se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada ensayo consistía en un corazón de 6 a 8 tratamientos en común, con la adición de 2 o 3 tratamientos adicionales de interés local. Los tratamientos variaron un poco en ciertas localidades, pero están arreglados en un diseño de factorial incompleto incluyendo dos niveles de densidad de maíz (4.4 y 6.6 pl/m²), fechas de siembra de la leguminosa dentro del maíz (0, 30 y 60 días después de siembra del maíz, dds), y densidad de leguminosa (1 o 2 surcos para 4.4 o 8.8 pl/m²).

Las parcelas se establecieron en surcos de 0.9 m entre sí y 2 plantas por golpe a 0.5 y 0.33 m para densidades de 4.4 y 6.6 plantas de maíz por m², respectivamente. La canavalia se sembró en medio de los surcos de maíz en uno o dos surcos con 2 plantas por golpe cada 0.5 m para densidades de 4.4 y 8.8 plantas de canavalia por m², respectivamente. El tamaño de las parcelas fue de 6 surcos por 8 m de largo. Todos los tratamientos recibieron 100 kg de N/ha y 30 kg P₂O₅/ha, la mitad del N a la siembra y la otra mitad a los 35-40 días después de siembra (dds), y el P todo aplicado a la siembra localizado. La semilla se trató químicamente contra plagas del suelo al momento de la siembra para asegurar la densidad teórica del ensayo. Se realizaron controles manuales de maleza al requerirse.

Durante el ciclo, se determinó la cobertura del maíz y la canavalia usando un cuadro de 0.7 x 0.7 m y una matriz de 49 cuadrados. El porcentaje de cobertura se estimó como la proporción del número de cuadrados cubiertos por maíz o canavalia en este

cuadro. Se determinó rendimiento de maíz y sus componentes de rendimiento en los 4 surcos centrales de cada parcela. En 12 plantas al azar, se cortaron al pie de la base y se determinó su peso seco. Se asumió que la biomasa seca del maíz se encontraba a 15% de humedad para cálculo del 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 el olote y estandarizar a 0% humedad. El peso de materia seca de canavalia se calculó después de la cosecha del maíz y en tres localidades. A la cosecha del maíz, se tomaron 3-4 muestras de 1 m² de canavalia, se cosecharon al pie de la base de cada planta, se determinó su peso fresco, y en una sub-muestra su porcentaje de humedad. Con estos datos se calculó la biomasa producida por la canavalia. Se tomaron muestras de maíz y canavalia para sus respectivos análisis químicos de contenido de nitrógeno.

Los datos se analizaron por localidad usando análisis de varianza. Debido a que los tratamientos variaron un poco en cada localidad, los resultados se combinaron usando el método de diferencias apareadas entre tratamientos de interés. Para ciertas comparaciones, se incluyeron datos de tratamientos específicos de experimentos del PRM en 1991. Las respuestas se analizaron graficando el efecto neto o el diferencial de rendimiento entre los tratamientos del asocio menos el tratamiento con maíz bajo monocultivo bajo las mismas condiciones experimentales de densidad, fertilización y manejo versus la media ambiental para cada localidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 1 muestra las medias de rendimiento y estadísticos asociados para las 6 localidades evaluadas en 1992, así como tratamientos en común de 3 localidades de Panamá reportadas en este volumen por Gordón *et al.* (1993). El análisis a continuación se basa en el uso de gráficas mostrando el efecto neto de los distintos ensayos en contra del potencial ambiental, definido este como el promedio de la variable de interés a través de las localidades incluidas. Debido que ninguno de los parámetros muestra ninguna obvia relación con el promedio ambiental, estos se resumen con su media y desviación estándar.

Cuadro 1. Rendimiento de grano (t/ha) de tratamientos de asocio maíz con canavalia a través de diversos ambientes de Centro América. Datos son de 1992.

Maíz	Canavalia*	Jutiapa	La Maquina	Cuya- mapa	Siguat- peque	Sta Rosa	San Cristóbal	La Honda	Las Tablas	Parita
4.4	mono	3.01	3.60	6.22	2.56	3.01	3.64	2.30	4.97	4.64
4.4	0 dds 1s	2.91	4.92	6.51	3.04	2.87	4.20	1.48	4.72	4.08
4.4	0 dds 2s	2.64	3.68	6.79	1.75					
4.4	30 dds 1s	2.76	4.24	6.76	2.03	2.99	4.06	2.32	5.08	4.43
4.4	30 dds 2s	2.96	4.40	6.54	3.00	3.59	4.17			
4.4	60 dds 1s									
4.4	60 dds 2s			5.80		3.25	4.70			
6.6	mono	3.70	5.06	6.67	2.48	3.13	3.91			
6.6	0 dds 1s	3.59	4.93	6.76	1.91	2.91	3.73			
6.6	30 dds 1s	3.93	4.61	7.05	2.44	3.11	4.78			
6.6	60 dds 2s			7.62		2.40	4.25			
Prom		3.19	4.43	6.68	2.40	3.03	4.16			
EED		0.24	0.69	0.67	0.62	0.54	0.67	0.41	0.39	0.61
Ftrt		***	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*

*Canavalia se refiere a fecha de inserción en días después de la siembra del maíz, 1s y 2s se refieren a 1 y 2 surcos de canavalia, respectivamente, para densidades de 4.4 y 8.8 pl/m².

Efecto del Asocio Simultáneo

La Figura 1 muestra el efecto neto del asocio simultáneo de canavalia a 2 densidades de maíz en comparación con el monocultivo de los distintos ensayos efectuados. En promedio, el asocio simultáneo de 1 surco (4.4 pl/m²) de canavalia redujo el rendimiento de maíz en 0.25 y 1.41 t/ha bajo densidades de 4.4 y 6.6 pl/m² de maíz, respectivamente. La reducción del rendimiento de maíz en monocultivo por 0.25 t/ha por el asocio simultáneo de canavalia es similar, aunque un poco menor, que la reportada por Zea (1992a) a través de 24 ensayos regionales en Centro América. Sin embargo, a densidades altas de maíz de 6.6 pl/m², la inserción de canavalia reduce el rendimiento bastante más, en 1.41 t/ha. O sea, la reducción en rendimiento por el asocio simultáneo fue bastante mayor a altas densidades de maíz que a bajas, posiblemente debido a una mayor competencia. Estos datos sugieren que la inserción de canavalia en siembra intercalada dentro del maíz será más favorable en sistemas de producción tipificados por bajas densidades de población de maíz. Los componentes de rendimiento muestran las causas de la baja en rendimiento por el asocio simultáneo de canavalia (Figura 1). En resumen, la caída en rendimiento se debe a un efecto insignificante del asocio en la densidad final de plantas (pl/m²), pero sí una reducción en el número de

mazorcas por m², el número de mazorcas por planta y el peso de mazorcas. En todos estos componentes, el efecto negativo del asocio fue mayor bajo densidades altas de maíz.

Estos resultados ponen de relieve la importancia de la investigación realizada por Gordón *et al.* (1993), reportada en este volumen, sobre la posibilidad de insertar simultáneamente canavalia pero a densidades menores, en surcos alternos de maíz. En este caso, la densidad baja de canavalia (2.2 pl/m²) no reduce significativamente el rendimiento de maíz en monocultivo, pero aún produce suficientes cantidades de biomasa a usarse como abono verde.

Efecto del Asocio Tardío

El efecto neto del asocio tardío (30 y 60 días después de la siembra del maíz) no tuvo un efecto consistente sobre el rendimiento de maíz (Figura 2). En promedio el efecto fue casi cero para densidades bajas y altas de maíz. Estos datos sugieren que se puede intercalar canavalia en maíz después de los 30 dds sin esperar reducciones significativas en el rendimiento en comparación con el monocultivo, tanto a densidades altas y bajas de maíz. En sistemas de monocultivo que no tienen un cultivo relevo, esta práctica podrá ayudar a la sostenibilidad del sistema.

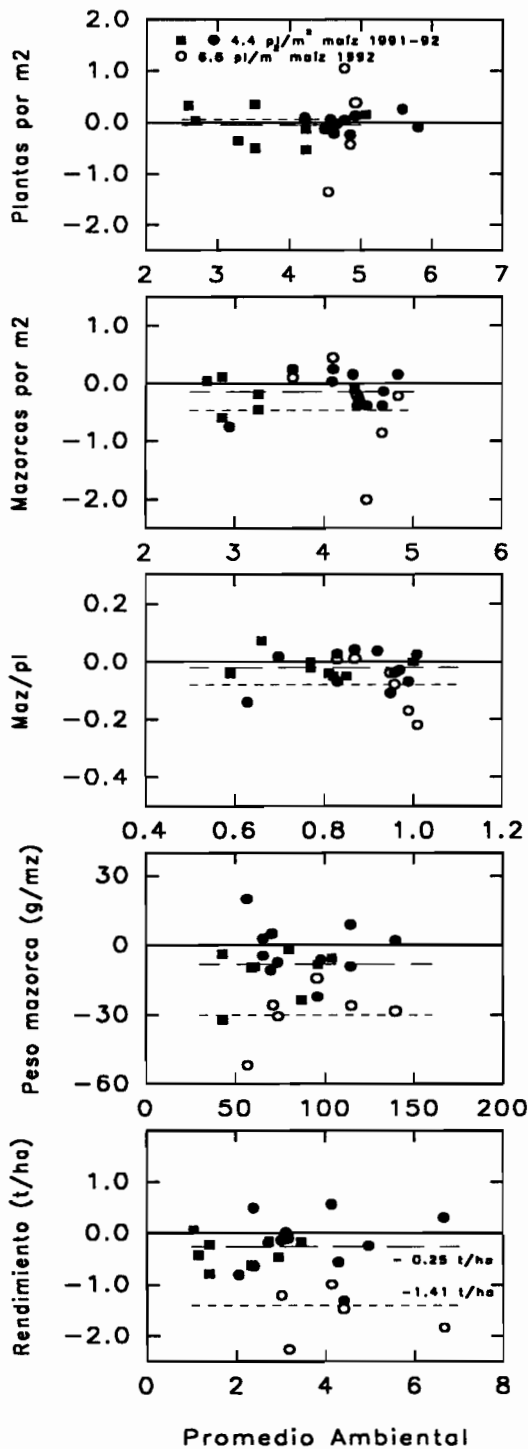


Figura 1. Efecto neto de intercalar simultáneamente 1 surco de canavalia (4.4 pl/m^2) en medio de 4.4 o 6.6 pl/m^2 de maíz en comparación con maíz en monocultivo bajo las mismas condiciones en función del promedio ambiental para: a) densidad de plantas, b) densidad de mazorcas, c) mazorcas por planta, d) peso de mazorca, y e) rendimiento de grano. Las líneas punteadas reflejan el promedio de las 2 densidades de maíz.

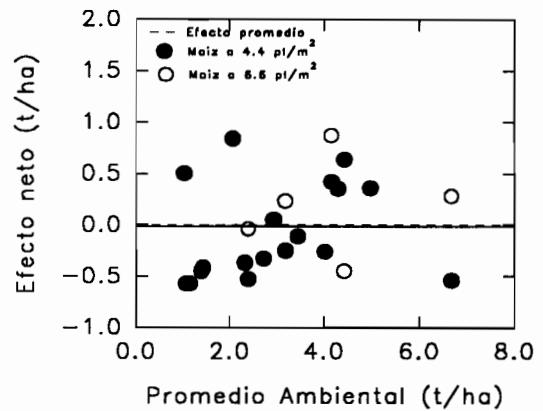


Figura 2. Efecto neto de la siembra tardía (30 dds) de canavalia intercalada en medio de los surcos del maíz en comparación con el maíz en monocultivo a 4.4 y 6.6 pl/m^2 de densidad de maíz. La canavalia se sembró a una densidad de 4.4 pl/m^2 .

Efecto de Aumentar la Densidad de Maíz

Los datos indicaron que incrementar la densidad de maíz en asocio temprano, redujo los rendimientos drásticamente en 1.41 t/ha (Figura 1). Sin embargo, para monocultivo y asocio tardío el efecto fue positivo en promedio en 0.72 y 0.51 t/ha , respectivamente. Estos datos corroboran la hipótesis planteada por Bolaños y Barreto (1991) que las densidades de plantas de maíz son una limitante a la productividad. Estos datos muestran que la siembra de 6.6 pl/m^2 de maíz en comparación con 4.4 pl/m^2 de maíz tienen un efecto significativo sobre el rendimiento consistente a través de un rango de potencial ambiental (Figura 3).

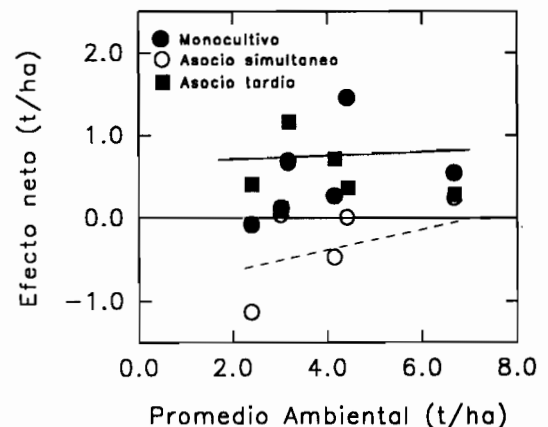


Figura 3. Efecto neto de incrementar la densidad de maíz de 4.4 a 6.6 pl/m^2 en sistemas de monocultivo, asocio simultáneo (0 dds) y asocio tardío (30 dds) con canavalia intercalada en medio de los surcos del maíz. Datos son de 1992.

La Figura 4 muestra la producción de canavalia promedio para los distintos tratamientos. El asocio simultáneo produce más de 4.0 t/ha de biomasa y el asocio tardío entre 1.0-2.0 t/ha. Análisis de laboratorio muestra que la canavalia tiene un poco más de 2% de contenido de N, lo que sugiere que el asocio puede aportar entre 30 y 80 kg N/ha, según la época de inserción.

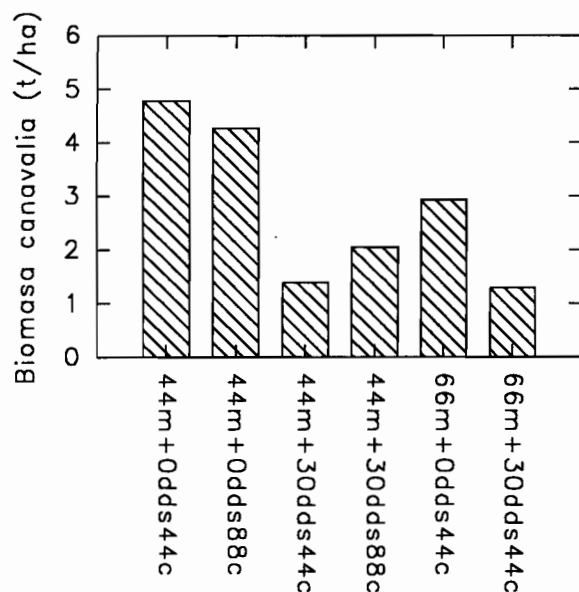


Figura 4. Producción de biomasa de canavalia para los distintos tratamientos evaluados a través de varios ambientes de Centro América. 44m se refiere a la densidad de maíz, 0 y 30 dds se refieren a la fecha de inserción de la canavalia, y 44 y 88c se refieren a densidades de canavalia de 1 y 2 surcos, respectivamente.

CONCLUSIONES

1. Se observó un efecto neto positivo de aumentar la densidad de maíz de 4.4 a 6.6 pl/m² de 0.71 t/ha en monocultivo. El asocio simultáneo de 1 surco de canavalia redujo el rendimiento en 0.25 y 1.41 t/ha a densidades de 4.4 y 6.6 pl/m², respectivamente. Los componentes de rendimiento más importantes en esta reducción fueron maz/m², maz/pl y peso de mazorca, pero no la densidad de plantas.

2. El asocio tardío de canavalia (30 y/o 60 dds) no tuvo ningún efecto sobre el rendimiento de maíz en monocultivo a ambas densidades de maíz.

3. La siembra simultánea de maíz canavalia produjo hasta 5.0 ton/ha de materia seca, valor que disminuyó a medida que se atrasó la época de siembra.

REFERENCIAS

- Aidar, H. y Vieira, R.F. 1975 Populacao de plantas de milho e de feijao no sistema de cultura consorciada utilizadas na zona da Mata de Minas Gerais. Revista Ceres UFV Brasil 22 (122) : 287-290.
- Barreto, H., G. Saín, 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.
- Bernal H. y Jimenez, L.C. 1990 Haba criolla. Canavalia ensiformis. Secab, Colombia.
- Bolaños, J. y H. Barreto. 1991. Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz de 1990. p.9-26 en Análisis de los Ensayos Regionales de Agronomía, PRM-CIMMYT, Guatemala.
- Couto W.S. 1976 Estudos de sistemas culturais de milho-Feijao no municipio de Vicoso, Minas Gerais. UFV. Imprensa Universitaria 32p, Tese de M.S..
- 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. p. 102-106 en Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, CIMMYT-PRM, Guatemala.
- Ofori, F. and 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. and P. Sánchez. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon Basin. Agron J. 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, Guatemala.

Asocio de Maíz con Canavalia a Distintas Epocas y Arreglos de Siembra en Azuero, Panamá, 1992-93

R. Gordón¹, N. de Gracia², J. Franco², A. González² y J. Bolaños³

RESUMEN

No cabe duda que el asocio de leguminosas con maíz tiene efectos benéficos para la sostenibilidad del sistema a largo plazo. Con este objetivo se realizaron ensayos para evaluar los efectos de diferentes asocios de canavalia con maíz en tres localidades de Azuero, Panamá, durante el ciclo agrícola 1992/93. Los tratamientos incluyeron maíz en monocultivo, siembra intercalada de canavalia en cada surco a razón de 2.2 plantas/m² a los 0, 15 y 30 días después de la siembra (dds) y asocio a los 0 dds con la canavalia en surcos alternos (1.1 plantas/m²) en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Todos los tratamientos recibieron 227 kg/ha de 15-30-8 y 227 kg/ha de urea a los 30 dds. El análisis combinado mostró que el efecto negativo del asocio sobre el rendimiento en monocultivo era menor mientras más tardía la fecha del asocio o el nivel de competencia. En comparación con monocultivo (3.97 t/ha), el asocio con canavalia en cada surco a los 0, 15 y 30 dds redujo el rendimiento de maíz en 0.54, 0.16 y 0.03 t/ha, respectivamente y el asocio simultáneo en surcos alternos en 0.18 t/ha. Los efectos negativos del asocio sobre el monocultivo se explican por una combinación de un menor número de plantas, mazorcas y un tamaño menor de éstas. Los resultados indican que mientras más temprano y mayor la densidad del asocio, mayor es la producción de biomasa por las leguminosas. El asocio a los 0, 15 y 30 dds produce 3.45, 2.52 y 1.01 t/ha de biomasa de la canavalia a la fecha de la cosecha del maíz, y la siembra simultánea en surcos alternos produce 2.08 t/ha. Los bajos niveles de biomasa por el asocio a los 30 dds pueden deberse a que el establecimiento de la canavalia en esa fecha es muy tardío para la distribución de lluvias en la región. Los resultados sugieren que el asocio simultáneo en surcos alternos de canavalia con maíz es una buena alternativa para la región de Azuero por: 1) La poca reducción en comparación con el rendimiento del maíz en monocultivo y 2) el aporte de cerca de 2.0 t/ha de canavalia al sistema. Si asumimos un contenido de 3.63% de N en la biomasa de la canavalia, esto significa un equivalente de 70 kg N/ha. Se sugiere validar esta alternativa en campos de agricultores.

La Academia Nacional de Ciencias (1984) informa que existen 600 especies de leguminosas poco conocidas y utilizadas, de éstas, por lo menos unas 200 pueden ser de mucha utilidad para países en vías de desarrollo. En Panamá existen trabajos de asociación de maíz con varias especies de leguminosas, entre las que podemos mencionar

Pueraria phaseoloides, *Centrosema macrocarpum*, *Stylosanthes guianensis*, *Vigna unguiculata*, *Stizolobium deeringianum* y *Canavalia ensiformis*, obteniéndose resultados satisfactorios con algunas de ellas (González *et al.* 1989a; 1989b; Gordón, 1992). Se tienen informes del uso extensivo de la Mucuna o frijol de terciopelo (*Stizolobium deeringianum*) como cultivo de cobertura en maíz en la zona del litoral Atlántico de Honduras, así como en algunas áreas de Guatemala y México (CIDICO, 1990). Debido a la baja calidad de los forrajes para el ganado en la época seca, la práctica de siembras intercaladas de leguminosas con maíz puede ser una buena alternativa para esta región, así como para reducir la erosión en terrenos con pendientes mayores del 10%.

El maíz en la región de Azuero es predominantemente de tipo monocultivo. El otro factor que se involucra es el ganado, el cual pastorea el rastrojo durante la época seca, de enero a mayo. Otra de las características es la siembra en áreas relativamente planas (con pendientes menores de 20%), pero la presión de población así como la alternativa de siembra de otros cultivos, han ido presionando poco a poco al cultivo en zonas de mayor pendiente. Esto ha ocasionado que el problema de erosión haya crecido en importancia en los últimos años. Dado que el problema de erosión es considerado uno de los principales problemas en las zonas productoras de maíz del resto de los países de Centro América, los técnicos de la región han considerado el cultivo de leguminosas intercaladas como una de las posibles alternativas de estudio para reducir las pérdidas del suelo ocasionadas por la erosión hídrica. Otro de los problemas de esta región es la escasa y pobre alimentación del ganado durante la época seca.

Hasta el presente, la siembra de leguminosas se ha utilizado en parcelas puras como bancos de proteínas por los ganaderos. Otro de los usos de las leguminosas es la siembra de parcelas, con el fin de incorporarlas al suelo en forma de enmiendas o abonos verdes. Es bien conocido el aporte de materia orgánica, mantenimiento de la fertilidad, el mejoramiento de la retención de humedad y estructura del suelo con aplicar este tipo de práctica.

¹Coordinador Nacional Programa de Maíz, IDIAP, Azuero.
²Investigadores de Maíz, IDIAP, Azuero. ³Agrónomo Regional para Centro América y el Caribe, CIMMYT, Guatemala.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de cuantificar y caracterizar las diferencias en producción de un sistema intercalado de maíz con canavalia en comparación con un sistema en monocultivo, y estimar la mejor época de siembra de canavalia dentro del maíz, tratando de maximizar la producción de materia seca de la leguminosa y minimizar las pérdidas de rendimiento del maíz.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó un experimento en la región de Azuero, Panamá, de agosto a diciembre de 1992 (época lluviosa) en las localidades de Las Tablas, Parita y La Honda bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Las unidades experimentales fueron parcelas de 6 surcos por 8 m de largo. La densidad de maíz fue aproximadamente 45 mil pl/ha sembrándose 2 plantas cada golpe a 0.5 m entre sí en surcos a 0.9 m de ancho. Se usó el híbrido P-8812 y la semilla se trató a razón de 10 g i.a./kg de semilla con el insecticida furatiocarb.

La siembra de la canavalia se realizó en tres épocas distintas con referencia al maíz, al momento de la siembra (0 días después de la siembra, dds), a los 15 y a los 30 dds en el medio de los surcos de éste. También se incluyó en el diseño la siembra de la canavalia al momento de la siembra del maíz, pero en surcos alternos y una parcela de maíz en monocultivo. La siembra de esta leguminosa se realizó a 0.5 m entre golpes en medio de la hilera del maíz. Este arreglo dio por resultado una población para los primeros tres tratamientos de 22,500 pl/ha y para los surcos alternos de 11,250 pl/ha de canavalia.

A todas las parcelas se les aplicó 227 kg/ha de la fórmula 15-30-8 al momento de la siembra más 272 kg/ha de urea a los 35 dds. El control de malezas se realizó con la aplicación de paraquat antes de la siembra y con posteriores limpiezas manuales según necesario. El sistema de siembra en las tres localidades fue el de labranza cero.

Al maíz se le tomaron los datos de rendimiento, número de plantas cosechadas, número de mazorcas, rendimiento de materia seca del rastrojo y el porcentaje de humedad del grano a los tres surcos centrales (parcela efectiva). También se midió el peso de materia verde de las leguminosas al momento de la cosecha del maíz y luego se tomó una muestra para determinar la humedad y determinar el peso seco de cada parcela. Para el rendimiento de materia seca de rastrojo por hectárea se tomaron dos surcos centrales, a excepción del tratamiento con surcos alternos, en donde sólo se le tomó el rendimiento de un surco. Se midieron los registros de precipitación pluvial de las parcelas, pero no se presentan. Los datos obtenidos fueron analizados por cada localidad y se realizó un análisis combinado de las localidades.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 y 2 se presentan los parámetros estadísticos y los promedios del rendimiento de maíz, leguminosas, rastrojo y otros componentes de rendimiento. Los resultados del análisis indican que hubo una diferencia significativa para la variable de rendimiento de canavalia (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza Combinado de las localidades de Parita, Las Tablas y La Honda. Panamá 1991.

Fuente de variación	gl	Cuadrados Medios					
		Grano	Legum	Rastrojo	Peso de Mz	Mz / pl	Ind de cosecha
Loc	2	56.418	7.778	149.854	10753.9	0.515	663.33
Rep (Loc)	9	1.246	0.335	39.161	377.2	0.012	7.46
Trat	4	0.561	12.851	3.756	118.2	0.004	236.79
Loc*Trat	8	0.167	2.407	2.352	48.9	0.010	110.20
Error	36	0.644	0.308	1.459	107.8	0.0061	8.61
C.V.		19.99	43.21	23.94	11.02	9.45	7.65

gl, Grados de libertad; C.V. Coeficiente de variación

Cuadro 2. Rendimiento de maíz y canavalia bajo distintos sistemas de asocio en tres localidades de Azuero, Panamá 1992-1993.

	Maíz								Canavalia	
	pl/m ²	niz/m ²	niz/pl	pesmz	Rend grano	Rend rastr	Biom total	Ind de cosech	Biom total	pl/m ²
				g	t/ha	t/ha	t/ha		t/ha	
Monocultivo	4.62	3.97	0.86	97.3	3.97	5.02	9.14	39.1	0.00	0.00
Asocio c/surco 0dds	4.50	3.67	0.82	88.8	3.43	4.47	8.03	37.6	3.45	2.18
Asocio s/alterno 0dds	4.59	3.86	0.84	94.6	3.79	4.76	8.70	39.3	2.08	1.19
Asocio c/surco 15dds	4.65	3.89	0.84	95.3	3.81	4.98	8.94	38.2	2.52	2.25
Asocio c/surco 30dds	4.68	4.04	0.87	95.0	3.94	5.00	9.09	38.9	1.01	2.12
Media	4.61	3.89	0.84	94.1	3.79	4.85	8.78	36.6	1.81	1.55
DMS (5%)	0.14	0.31	0.06	8.5	0.51	0.72	1.18	2.6	0.51	0.11
F (trat)	&	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***	***
F (trat*loc)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***	&

&, *, **, *** : significancia al 10, 5, 1 y 0.01 %, respectivamente

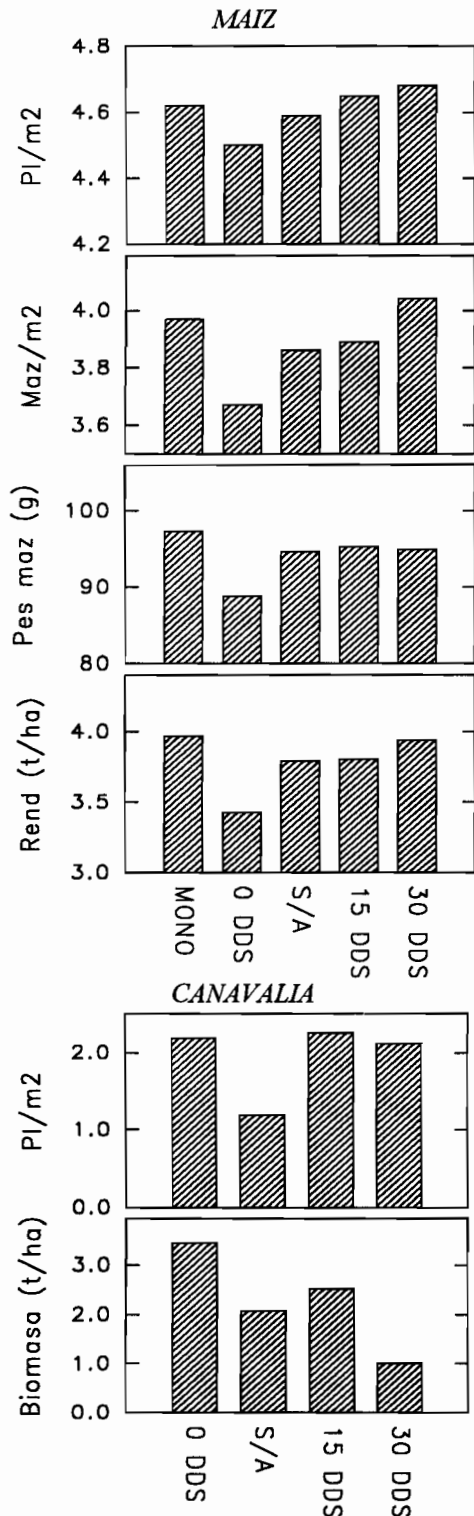
Se observó que la reducción del rendimiento de maíz es menor a medida que la leguminosa se introduce posterior a la siembra del cultivo o el nivel de competencia. Los rendimientos de maíz obtenidos fueron de 3.97, 3.79, 3.43, 3.81 y 3.94 t/ha, para la parcela en monocultivo, 0 dds surco alterno, 0, 15 y 30 dds (surcos continuos), respectivamente (Cuadro 2). La reducción del rendimiento por parte del asocio con la leguminosa se debió por la combinación de varios factores, entre los principales tenemos la pérdida de plantas, mazorcas y un tamaño menor de éstas (Figura 1a). Esta reducción fue del orden de 0.54, 0.16 y 0.03 t/ha para el asocio en cada surco a los 0, 15 y 30 dds, respectivamente.

En relación a la producción de biomasa de la leguminosa, todos los asociados producen en relación al arreglo, pero mientras mas temprano y mayor la densidad del asocio, mayor es la producción (Figura 1b). El porcentaje de nitrógeno en la canavalia fue de 3.63% según el análisis de laboratorio a 6 muestras de la leguminosa. La siembra a los 30 dds es el arreglo que tuvo el menor rendimiento de materia seca (1.01 t/ha). Esta siembra es muy tardía para la distribución de las lluvias de la región, la cual es bastante escasa, aunado al hecho que el sombreado por el maíz después de los 30 dds es mucho mayor, formando un ambiente de poca radiación disponible para intercepción por la canavalia en asocio.

La siembra en surcos alternos se presenta como

buena alternativa, es decir, poca reducción del rendimiento de maíz (180 kg/ha) y una adición de 2.0 t/ha de canavalia, o sea 72 kg/ha de N al sistema. En relación a la siembra de la canavalia en surcos continuos, la época que presenta mejor alternativa es la de 15 dds, ya que, al igual que la siembra en surcos alternos, reduce poco el rendimiento de maíz (160 kg/ha) y produce 2.5 t/ha de canavalia, lo cual aportaría 90 kg de N/ha al sistema. El tratamiento de siembra a los 0 dds en surcos continuos, fue el asocio que más biomasa produjo (3.45 t/ha de canavalia) obteniéndose por ende el mayor aporte de N al sistema (125 kg N/ha). Asumiendo que la mitad de este N que contiene la canavalia en su biomasa fue fijado y la otra mitad reciclado del disponible en el suelo, esto significa un aporte neto desde 35 a 70 kg N/ha al sistema. Además del aporte de N al sistema, el asocio de maíz con canavalia es una mejor alternativa que el maíz en monocultivo en zonas ganaderas, ya que, mejora la calidad del rastrojo en la época seca, dado que, el rastrojo de maíz es de muy baja calidad.

El rendimiento del rastrojo del maíz no presentó diferencias significativas entre los tratamientos. Aunque el menor rendimiento se obtuvo con el tratamiento a los 0 dds en siembras de surco continuo. Al realizar una correlación entre el rendimiento y los otros componentes del rendimiento, se encontró que a mayor producción de la canavalia el índice de cosecha del maíz fue menor ($r=-0.85$, $Prob < 0.01$).



CONCLUSIONES

1. El efecto negativo del asocio sobre el rendimiento en monocultivo es menor mientras más tardía es la fecha del asocio o mayor densidad de la leguminosa.
2. La siembra simultánea de la canavalia en surcos continuos, es el tratamiento que mas reduce los rendimientos de maíz, mientras que, la siembra en surcos alternos es una alternativa, ya que, reduce poco el rendimiento de maíz y aporta 2.0 t/ha de materia seca.
3. La producción de biomasa de la leguminosa es mayor mientras más temprano se siembra la canavalia y mayor es su densidad. La siembra a los 30 dds es muy tardía para la región, debido a la distribución de las lluvias.

REFERENCIAS

CIDICO: Centro Internacional de Información sobre Cultivos de Cobertura. 1990. Carta trimestral N° 1. Apdo postal 3385. Tegucigalpa, Honduras.

González, A., E.Vargas, R.Gordón y N.De Gracia. 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). pp. 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). pp. 271-272.

Gordón M., A. González, N. De Gracia, J. Franco, D. Herrera y B. Guerrero. 1992. Evaluación de dos leguminosas intercaladas en el cultivo de maíz, en dos localidades de Azuero, 1991. En: Síntesis de los Resultados Experimentales de Maíz, Panamá, 1991-1992. IDIAP/PRM. pp. 95-101.

National Academy of Sciences. 1984. Tropical legumes resources for the future. Washington, D. C. pp. 292-332.

Figura 1. (a) Rendimiento y componentes de maíz bajo distintos esquemas de asocio con canavalia. (b) Biomasa y densidad final de canavalia en los mismos experimentos. Los tratamientos se encuentran descritos en el texto. Los datos son promedios de 3 localidades en Panamá en 1992 (Parita, La Honda, Las Tablas).

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

R. Gordón¹, J. Franco², N. de Gracia², L. Martínez², A. González², A. de Herrera³ y J. Bolaños⁴

RESUMEN

Se realizó un experimento para evaluar la respuesta del maíz a tres dosis de N (0, 75 y 150 kg N/ha), bajo tres sistemas de siembra en rotación del maíz con las leguminosas *Canavalia ensiformis* y *Stizolobium deeringianum* (*Mucuna*), además de una siembra sin leguminosas. Las leguminosas fueron sembradas al inicio de la época lluviosa (mayo/1992) y el maíz en septiembre del mismo año. También se evaluaron dos tipos de labranza uno consistió en incorporar las leguminosas y malezas antes de la siembra y el otro en dejarlas sobre la superficie del suelo. Se utilizó un diseño de parcelas sub-divididas (leguminosas / labranza / N) en bloques al azar con tres repeticiones. Se encontró que hubo una respuesta altamente significativa por el efecto residual de las leguminosas, siendo más alto con canavalia, luego con mucuna y por último la parcela sin leguminosa con rendimientos de 4.09, 3.09 y 2.24 t/ha, respectivamente. Esto nos indica que la siembra de las leguminosas favoreció el cultivo. La respuesta de la aplicación del N fue altamente significativa (2.44, 3.37 y 3.61 t/ha) así como la interacción leguminosas por dosis, ya que, en la parcela de mucuna con rendimientos de 2.21, 3.36 y 3.70 t/ha y sin leguminosas 1.18, 2.58 y 2.95 t/ha (para 0, 75 y 150 kg/N) la respuesta fue alta, mientras que con canavalia no (3.93, 4.16 y 4.18 t/ha, para los mismos niveles). En relación con el sistema de labranza el mismo no mostró diferencias estadísticas aunque el promedio de la parcelas sin incorporación de residuos fue mayor que las parcelas incorporadas (3.26 y 3.02 t/ha, respectivamente), esto se debió a que en el área se presentó una sequía durante el desarrollo del cultivo, lo que favoreció que en las parcelas con residuos se conservara mejor la poca humedad existente. Se realizó un análisis económico para determinar el óptimo, el cual varió según el sistema. Para canavalia, mucuna y sin leguminosa la dosis óptima de N fue de 54, 123 y 139 kg/ha, respectivamente.

El uso de leguminosas como abonos verdes es un método que se viene utilizando desde hace muchos años. Trabajos realizados por muchos investigadores informan de los beneficios de incorporar leguminosas de cobertura con el fin de incorporar N al sistema mediante la fijación biológica (Wade y Sánchez, 1983, Yost *et al.*, 1985, Barreto *et al.*, 1992). Bouldin *et al.* (1975) encontró que se pueden sustituir hasta

170 kg/ha de N, utilizando leguminosas de cobertura. El uso de la canavalia y la mucuna como abono verde fue estudiado por Barreto *et al.* (1992), ellos reportan 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.

Este trabajo se realizó con el objetivo de determinar el valor de sustitución de N del aporte de abono verde de leguminosas sembradas 4 meses antes de la siembra del maíz en septiembre bajo dos tipos de labranza (incorporando la leguminosa o dejándola sobre la superficie del suelo como mantillo superficial bajo cero labranza) y evaluar la dinámica del N. Otro objetivo era evaluar los requerimientos de N en forma de urea para la producción del maíz en monocultivo bajo el sistema descrito.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó un ensayo en la finca Río Hato Sur, en la provincia de Coclé, República de Panamá, a 25 m.s.n.m. El terreno era un suelo franco arcilloso con aproximadamente 5% de pendiente y con fertilidad de media a baja. El Cuadro 1 muestra las características del suelo, y la Figura 1 la distribución mensual de la precipitación en la época del ensayo.

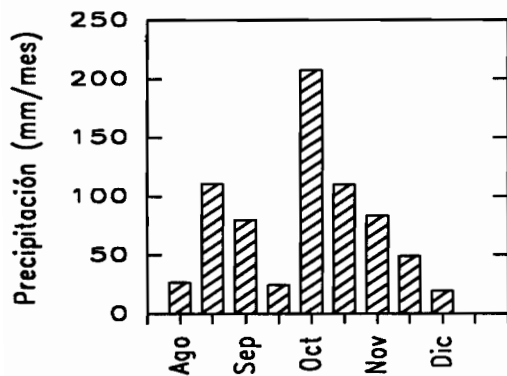
Se evaluó la respuesta del maíz a 3 dosis de N (0, 75 y 150 kg/ha) en rotación con *Canavalia ensiformis* (canavalia) y *Stizolobium deeringianum* (mucuna) además de un tesigo sin leguminosas bajo dos tipos de labranza. Las leguminosas se sembraron al inicio de la época lluviosa (mayo 1992) y el maíz a fines de agosto del mismo año 15 días después de chapearse las leguminosas y malezas presente. Los dos tipos de labranza consistieron en la incorporación con labranza convencional del rastrojo de las leguminosas y malezas presentes antes de la siembra del maíz, y el otro en dejar el rastrojo de la leguminosa como mantillo sobre el suelo bajo labranza cero. Los niveles de N se instalaron a fines de agosto sobre las mismas parcelas usándose el híbrido de maíz P-8812.

¹ Coordinador Nacional de Maíz, IDIAP, Azuero. ² Investigadores de Maíz, IDIAP, Azuero. ³ Socioeconomistas, IDIAP, Azuero. ⁴ Agrónomo Regional para Centro América y el Caribe, CIMMYT, Guatemala.

Cuadro 1. Análisis de suelo para cada parcela en rotación, antes de la siembra de las leguminosas, Río Hato, Panamá, 1992-93.

Parcela	Descanso	Mucuna	Canav	Prom
Ar/Lim/Arc	72/14/14	66/24/10	80/6/14	73/15/12
pH	5.6	6.1	6.0	5.90
P	6.2	16.0	5.7	9.30
K	62.1	151.5	113.6	109.07
Ca	15.8	15.3	15.7	15.60
Mg	1.6	1.6	1.5	1.57
Al	tr	0.1	tr	0.03
M.O (%)	1.21	2.81	1.61	1.88
Mn	2.4	2.4	2.9	2.57
Fe	1.9	1.1	1.1	1.37
Zn	tr	0.2	tr	0.07
Cu	1.2	1.4	1.2	1.27

Ar/Lim/Arc se refiere a porcentaje de arena, limo y arcilla; Al, P, Mn, Fe, Zn y Cu expresados en ug/ml; K, Ca y Mg en meq/100g. M.O. se refiere a materia orgánica (%).

**Figura 1. Precipitación en Río Hato desde agosto hasta diciembre de 1992 (mm/mes).**

El diseño experimental utilizado fue el de parcelas sub-sub-divididas en bloques al azar con tres repeticiones. La parcela principal lo constituyó el tipo de leguminosas, la sub-parcela fue el tipo de labranza (convencional y conservación), mientras que las sub-sub-parcelas los niveles de N: La parcela de labranza convencional consistió en una parcela que se le procedió a dar tres pases de un monocultivo. La parcela de labranza de conservación consistió en una parcela que no se preparó, sólo se chapeó la leguminosa y/o maleza (según la sub-parcela) y posteriormente se le aplicó un herbicida quemante como el paraquat a razón de 2.0 l/ha.

Las unidades experimentales fueron de 4 surcos de maíz de 5 m de largo, separados a 0.75 m entre hileras

y 0.50 m entre golpes, dejando dos plantas por golpe. 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 de 60 kg/ha de P₂O₅ más 20 kg/ha de S (CaSO₄ como fuente de S) más la mitad del N al momento de la siembra (menos en la parcela de 0 kg de N/ha), el resto del N aplicándose en forma de urea 35 días después de la siembra (dds). Se tomaron datos del peso de las leguminosas al momento de chapearlas, 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.

Adicional al análisis agronómico se le realizó un análisis económico continuo, a través de una función de respuesta cuadrática del rendimiento a la aplicación de diferentes dosis de N, incorporando tres variables "dummy" para medir los efectos de la mucuna y canavalia (d1 y d2) y del tipo de labranza (d3).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados del análisis estadístico y promedios del rendimiento de grano de maíz, peso de mazorcas y mazorcas por planta de los 18 tratamientos se observa en el Cuadro 2 y 3. Los resultados del análisis estadístico indicaron de que hubo una diferencia altamente significativa para todas estas variables.

Cuadro 2. Análisis de varianza de las variables rendimiento de grano, número de mazorcas por planta y peso de mazorcas, Río Hato, Panamá 1992-93.

Fuente	gl	Cuadrados Medios		
		Rend	Mz/pl	PesMz
Rep	2	0.132	0.013	168.28
Leg	2	15.460**	0.084@	7557.9*
Rep*Leg	4	1.546	0.021	1289.9
Lab	1	0.730	0.074	465.8
Leg*Lab	2	0.138	0.007	139.8
Rep*Lab(Leg)	6	0.298	0.030	159.1
Nit	2	6.853**	0.127**	2205.1**
Leg*Nit	4	1.070**	0.016	248.8
Lab*Nit	2	0.022	0.008	187.9
Leg*Lab*Nit	4	0.232	0.023	105.1
Error	53	0.494	0.132	14.33

@, *, **, *** se refieren a P<F de 0.10, 0.05, 0.01 y 0.001, respectivamente.

Cuadro 3. Promedio de rendimiento de grano (t/ha), número de mazorcas por planta y peso de mazorcas (g) de las diferentes leguminosas, dosis de N y tipos de labranzas, Río Hato, Panamá, 1992-93.

Leguminosa	Tipo de Labranza	Dosis N kg/ha	Rend t/ha	Maz/pl	PesMaz g	Pl/m ²
Mucuna	No Inc	0	2.46	0.85	71.33	4.178
Mucuna	No Inc	75	3.42	1.00	86.97	4.000
Mucuna	No Inc	150	3.58	0.95	99.13	4.044
Mucuna	Incorp	0	1.98	0.70	64.73	4.356
Mucuna	Incorp	75	3.30	0.89	79.33	4.667
Mucuna	Incorp	150	3.82	0.91	93.43	4.489
Canavalia	No Inc	0	4.10	0.93	90.13	4.933
Canavalia	No Inc	75	4.17	1.03	97.73	4.222
Canavalia	No Inc	150	4.22	1.08	103.40	3.778
Canavalia	Incorp	0	3.76	0.93	94.63	4.222
Canavalia	Incorp	75	4.15	0.95	90.60	4.800
Canavalia	Incorp	150	4.14	0.87	106.17	4.444
Descanso	No Inc	0	1.22	0.78	36.97	4.356
Descanso	No Inc	75	2.75	0.82	73.93	4.622
Descanso	No Inc	150	3.4	0.93	75.56	4.889
Descanso	Incorp	0	1.14	0.59	43.20	4.933
Descanso	Incorp	75	2.42	0.93	55.63	4.667
Descanso	Incorp	150	2.51	0.94	54.57	4.889

El resultado del análisis de laboratorio indicó un contenido de 2.93% y 3.63% de N en la mucuna y canavalia (tallos más hojas) al momento del chapeo en agosto, con una producción total de materia seca de 1.96 y 4.07 t/ha, respectivamente. Esto indica un total de N aportado de 57 y 147 kg/ha, respectivamente. La canavalia produjo bastante materia seca más que la mucuna y tenía casi 0.5% de N adicional en su materia seca. La mejor adaptación de la canavalia posiblemente se deba a la escasez de lluvia que se dió en el período de crecimiento de las leguminosas, ya que la canavalia tiene reputación de tolerar muy bien la sequía, mientras que la mucuna es favorecida por ambientes muy lluviosos.

Se encontró que hubo una respuesta altamente significativa por el efecto residual de las leguminosas. El rendimiento más alto de maíz se obtuvo en rotación con canavalia, luego con mucuna y por último en la parcela sin rotación con leguminosas. Los rendimientos promedio a través de dosis de N y tipos de labranza fueron 4.09, 3.09 y 2.24 t/ha, respectivamente. Este mismo orden se observó en los componentes del rendimiento peso de mazorca y número de mazorcas por planta, siendo sus diferencias

significativas al 5 y 10%, respectivamente, en el análisis combinado. La rotación de maíz con leguminosas favoreció el rendimiento del cultivo.

La respuesta de la aplicación del N fue altamente significativa, con promedios a través de tipos de labranza y rotación de 2.44, 3.37 y 3.61 t/ha, para 0, 75 y 150 kg N/ha aplicado, respectivamente. En relación al peso de las mazorcas se observó que a medida que se reduce la cantidad de N el tamaño de la mazorca es menor. El nivel de cero N es el factor que reduce más el número de mazorcas por planta, alrededor de un 20% de plantas abortaron las mazorcas, en comparación con los niveles de 75 y 150 kg con un 3 y 4% de aborto (Cuadro 3).

También se observó que la interacción leguminosas x dosis de N fue significativa, ya que, la respuesta a N fue alta aún en la parcela bajo rotación con mucuna, en donde se obtuvieron rendimientos de 2.21, 3.36 y 3.70 t/ha y sin leguminosas 1.18, 2.58 y 2.95 t/ha, para las dosis de 0, 75 y 150 kg/N, respectivamente. La siembra en rotación con canavalia no presentó respuesta significativa a N con rendimientos de 3.93, 4.16 y 4.18 t/ha, para los mismos niveles (Figura 2).

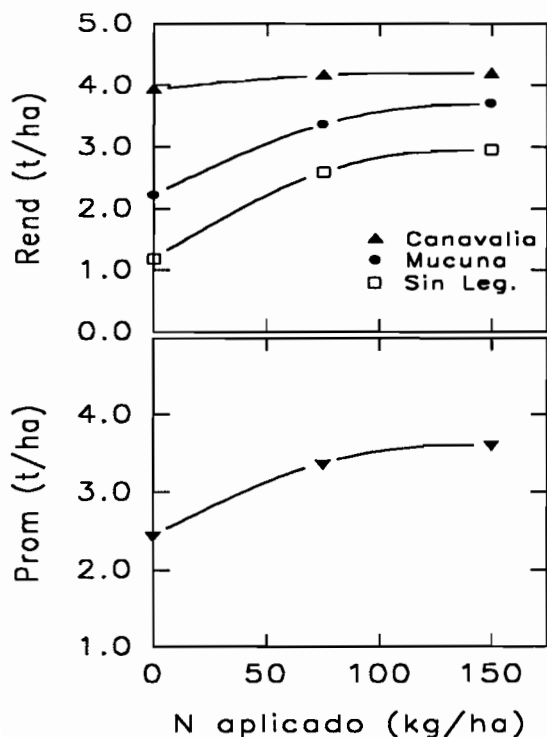


Figura 2. Respuesta a N aplicado (kg/ha) promediados a través de tipos de labranza para rotación con canavalia, mucuna y un testigo sin leguminosas en Río Hato, 1992. La parte (b) muestra la respuesta promedio.

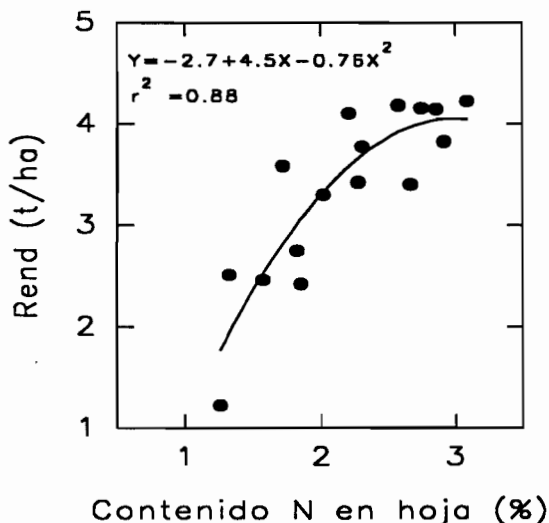


Figura 3. Relación entre el contenido de N (%) en la hoja de la mazorca a la floración con el rendimiento final a través de tratamientos de rotación, labranza y aplicación de N. Datos son de Río Hato, 1992.

En relación con el sistema de labranza el mismo no mostró diferencias estadísticas aunque en promedio el rendimiento de la parcelas sin incorporación de residuos fue mayor que en las parcelas incorporadas (3.26 y 3.02 t/ha, respectivamente). Esto posiblemente se debió a una sequía que se presentó durante el desarrollo del cultivo, lo que favoreció que en las parcelas con residuos se conservara mejor la poca humedad existente. Costa et al. (1990), encontraron que en parcelas en donde no se incorporaban las leguminosas rendían menos en las que si hubo incorporación, debido a que en las primeras había mayores pérdidas de N.

Se realizó un análisis de regresión entre el rendimiento y el porcentaje de N al momento de la floración, mostrando una relación positiva (Figura 3). No se encontraron diferencias significativas entre la interacción lineal y cuadrática del tipo de labranza con las dosis de N así como las interacciones cuadráticas del tipo de leguminosas y los niveles de N.

Reemplazando los valores de los parámetros estimados del modelo económico utilizado, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Y = 1357.97 + 20.90 N - 0.06 N^2 + 995.67 D_1 + 2611.4 D_2 - 233.0 D_3 - 1.91 D_1 N - 10.1 D_2 N$$

De este modelo se obtuvieron seis funciones que explican las respuestas del N con los diferentes tipos de leguminosas y bajo los dos tipos de labranzas, permitiendo estimar los óptimos económicos. En la siembra del maíz sin rotación de leguminosas el óptimo ascendió a 139 kg de N/ha en tanto que para la rotación con mucuna y canavalia el mismo fue de 123 y 54 kg de N/ha, respectivamente. Esto representó un ahorro de 85 kg de N/ha entre las siembras con canavalia en comparación de las sin leguminosas (Herrera, et al. 1993). Esto se reflejó en un incremento de B/316.49 en los beneficios netos asociados con la alternativa de aplicar N en rotación con canavalia sin incorporar, respecto a la alternativa de no rotar con leguminosas. A pesar de que la aplicación de N no interactuó con el tipo de labranza y por tanto no modifica los óptimos económicos; no obstante, los beneficios netos aumentaron entre un 6 y un 10% sin incorporar los residuos vegetales (leguminosas y/o malezas), respecto a incorporarlas. Para canavalia, mucuna y sin leguminosa la dosis óptima de N fue de 54, 123 y 139 kg/ha, respectivamente.

CONCLUSIONES

1. La respuesta por el efecto residual de las leguminosas fue altamente significativa. Se obtuvieron rendimientos de maíz de 4.09, 3.09 y 2.24 t/ha en rotación con canavalia, mucuna y un tesigo sin leguminosa, respectivamente.
2. La respuesta de la aplicación del N fue altamente significativa para los niveles de 0, 75 y 150 kg/ha (2.44, 3.37 y 3.61 t/ha).
3. La respuesta del N fue significativa en las parcelas sin leguminosas (1.18, 2.58 y 2.95 t/ha) y mucuna (2.21, 3.36 y 3.70 t/ha), mientras que en la canavalia no se observó ganancias significativas (3.93, 4.16 y 4.18 t/ha).
4. El sistema de labranza no mostró diferencias estadísticas aunque el promedio de la parcelas sin incorporación de residuos fue mayor que las parcelas incorporadas (3.26 y 3.02 t/ha, respectivamente).
5. Para las parcelas de rotación con canavalia, mucuna y sin leguminosas la dosis óptima de N fue de 54, 123 y 139 kg/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.
- 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.
- Herrera de, A, R.Gordón, J.Franco, N.De Gracia, L.Martínez, A.González. 1993. Análisis económico de la respuesta del maíz a la aplicación del Nitrógeno en rotación con leguminosas, bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1992-93. (En Edición).
- 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 al Asocio con Mucuna en Yoro, Honduras, 1992

G. López¹, S. Rivera¹, S. Lozano¹ S. de Licona¹ y J. Bolaños²

RESUMEN

En el Litoral Atlántico de Honduras los agricultores han adoptado la siembra de mucuna como frijol de abono dentro de sus sistemas de producción. Sin embargo, en otras regiones de Honduras con otras condiciones socioeconómicas y climáticas, la adopción de leguminosas de cobertura como abono verde ha sido lenta. El objetivo de este trabajo era evaluar varias alternativas de inserción de mucuna en los sistemas de producción de maíz del área de Yoro, Honduras. En 1992 se instalaron 2 ensayos (Cuyamapa, Yoro) para evaluar el efecto sobre el maíz en monocultivo (4.4 pl/m²) de asocio con mucuna a los 0, 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds). Debido a que el efecto del asocio es menor mientras más tardía la siembra, la densidad de mucuna fue de 2.2 pl/m² para los 0 dds, 4.4 pl/m² a los 30 dds, 6.6 pl/m² a los 60 dds y 8.8 pl/m² a los 90 dds. Se incluyó un testigo adicional de monocultivo con 6.6 pl/m² de maíz. Todos los tratamientos recibieron 100 kg N/ha y 30 kg P₂O₅/ha, y se usó un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones. Los resultados muestran un efecto neto promedio de 0.3 t/ha por el uso de 6.6 pl/m² de maíz versus 4.4 pl/m² en monocultivo. Dentro de los asocios, en general, mientras más tardío el asocio menor el efecto sobre el rendimiento de monocultivo. El asocio simultáneo redujo en promedio el rendimiento del monocultivo en -0.15 t/ha, pero produce más de 2.5 t/ha de biomasa de mucuna al final del ciclo del maíz. Esta biomasa de mucuna contribuye al control de malezas y aporta materia orgánica y nitrógeno (más de 40 kg N/ha) para los siguientes ciclos. Se recomienda seguir evaluando estas alternativas así como su efecto residual.

La competencia entre plantas por espacio, luz, agua y nutrientes depende de la densidad y época de siembra, del arreglo espacial y de la interacción genotipo-ambiente. El efecto de competencia es más drástica cuando el aprovisionamiento de recursos disponibles es menor al de las necesidades de los cultivos en asocio (Vieira, 1985).

Algunos estudios sobre el asocio simultáneo de mucuna (*Stizolobium deeringianum*) con maíz, reportan un efecto reductor en los rendimientos de 0.63 t/ha en comparación al sistema de monocultivo. En estas experiencias no se indica la realización de podas o despuntes a la leguminosa y al intercalarlas se utilizaron poblaciones iguales a las usadas en monocultivo (Zea *et al.*, 1991; Lara *et al.*, 1989).

La introducción de mucuna como abono verde en zonas bajo condiciones ambientales diferentes a las de bosque húmedo tropical, requiere de la identificación de la mejor época y densidad de siembra al asociarla con maíz. Ello es así porque la mucuna demanda para su óptimo establecimiento y desarrollo de abundantes lluvias durante los primeros meses después de la siembra. Así, el presente trabajo tuvo como objetivos evaluar el efecto de asociar mucuna a diferentes épocas y densidades de siembra sobre el rendimiento de maíz y sus componentes, estimar la cobertura del suelo y producción de biomasa de la leguminosa.

MATERIALES Y METODOS

Los ensayos se instalaron en las localidades de Cuyamapa y Los Hornitos del Departamento de Yoro el 19 de junio y el 2 de julio de 1992, respectivamente. Se usó el diseño experimental de bloques completos al azar con 3 repeticiones. Se sembró la variedad HB-104 a 0.9 m entre hileras y 0.5 m entre posturas. En el Cuadro 1 se describen los tratamientos evaluados.

La densidad de maíz de 66,000 pl/ha se obtuvo dejando 6 plantas por metro lineal. La mucuna se sembró en medio de las hileras del maíz a una y dos plantas por postura cada 0.5 m para obtener las poblaciones de 22,000 y 44,000 pl/ha, respectivamente. La densidad de 66,000 pl/ha se logró sembrando una hilera de mucuna a 2 plantas por postura cada 0.33 m. Sembrando dos hileras de mucuna a dos plantas por postura cada 0.5 m se obtuvieron 88,000 pl/ha. Se realizaron controles de malezas manuales uno por localidad a los 30 días después de la siembra del maíz. En el Cuadro 2 se presenta el resultado del análisis de suelo de la localidad de Los Hornitos.

Los tratamientos recibieron una dosis equivalente a 100-30 kg/ha de N-P2O5. El fósforo se aplicó junto con el 50% de N a la siembra con chuzo. La diferencia de N se aplicó a los 30 días después de la siembra del maíz. La cobertura del suelo por la leguminosa se calculó cada 30 días después de su siembra hasta los 90 días mediante un marco de madera de 70 x 70 cms. En ambas localidades y por ocasión de la cosecha del maíz solamente fue necesario una chapia manual (poda) al tratamiento maíz y mucuna simultánea.

¹Investigadores de Maíz, SRN, Honduras. ²Agrónomo Regional para Centro América y el Caribe, CIMMYT, Guatemala.

Cuadro 1. Descripción de Tratamientos

Sistema	Densidad Maíz pl/ha	Densidad Mucuna pl/ha
Maíz monoc.	66,000	—
M+Muc 0 DDS	44,000	22,000
M+Muc 30DDS	44,000	44,000
M+Muc 60DDS	44,000	66,000
M+Muc 90DDS	44,000	88,000

DDS = Días después de la siembra del maíz

Cuadro 2.- Resultado del análisis de suelo de la Localidad de Los Hornitos, Yoro.

% Materia Orgánica	2.46
pH.	5.40
K Meq/100 ml de suelo	0.35
Ca Meq/100 ml de suelo	4.00
Mg Meq/100 ml de suelo	1.72
P ug/ml de suelo	24.40
Fe ug/ml de suelo	5.56
Cu ug/ml de suelo	5.00
Mn ug/ml de suelo	43.00
Zn ug/ml de suelo	4.00
Clase Textura	Franco Arcillo-Arenoso

Cuadro 3.- Medias de rendimiento t/ha y sus componentes por efecto de intercalar maíz y mucuna en diferentes épocas y densidades de siembra.

Tratamiento	Rend.		Pl/m ²		Mz/m ²		Mz/Pl		Peso Maz.	
	Cuy ¹	Hor ²	Cuy	Hor	Cuy	Hor	Cuy	Hor	Cuy	Hor
Maíz Monoc. 66 mil	6.8	4.1	5.4	5.4	5.0	4.7	0.9	0.9	136	86
M+Muc 0 DDSM	6.2	3.9	4.2	3.9	4.0	3.4	0.9	0.9	156	113
M+Muc 30 DDSM	6.3	3.5	4.1	4.0	4.0	3.9	0.9	1.0	158	91
M+Muc 60 DDSM	6.2	3.9	4.1	4.2	4.0	3.9	1.0	0.9	154	99
M+Muc 90 DDSM	6.5	3.9	4.8	4.0	4.2	3.8	0.9	0.9	155	102
Prueba de F	ns	ns	**	**	**	**	ns	**	ns	ns

De los componentes de rendimiento se observaron diferencias para plantas/m² y mazorcas/m². Este resultado se explica por el hecho de haber diferencias de población de maíz en la parcela de monocultivo y en los asociados con mucuna. ¹Los Hornitos. ²Cuyamapa.

Las variables en estudio fueron: rendimiento de maíz y sus componentes; cobertura, peso de biomasa seca de la leguminosa a los 140 días después de la siembra de maíz. Se realizó un análisis de la parte aérea de la mucuna, muestras tomadas a los 120 días después de sembrado el maíz. Los resultados del rendimiento en maíz se sometieron a un análisis económico por presupuesto parcial (CIMMYT, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 3 se observa que no hubo efectos significativos sobre el rendimiento del maíz por el asocio de mucuna en cualquiera de las épocas de siembra. Estos resultados sugieren que es posible el asocio simultáneo de maíz con mucuna, a bajas densidades de siembra de la leguminosa.

La mayor producción de biomasa se obtuvo con el asocio simultáneo en Los Hornitos y la siembra de mucuna 60 días después del maíz en la localidad de Cuyamapa con valores de 2.9 y 3.1 t/ha respectivamente.

En el Cuadro 4 se presenta el contenido de nutrientes en la parte aérea de mucuna observándose valores diferenciados para fósforo y calcio por efecto de las diferentes épocas de siembra. Para los demás elementos no se observaron diferencias sobresalientes.

En los Cuadro 5 se presentan los resultados del análisis económico. Para ambas localidades, la práctica de intercalar mucuna resultó más costosa inicialmente al compararla con el testigo maíz monocultivo. Sin embargo por tratarse de una tecnología que mostrará sus bondades a mediano plazo, es de esperar que en el ciclo residual, tanto el aporte de nutrientes así como su efecto sobre las propiedades físicas del suelo y la población de maleza, reducirá los gastos en preparación de suelo y aplicación de fertilizantes químicos (Pascua, 1992).

Cuadro 4. Contenido de nutrientes de mucuna (hojas mas tallos) en diferentes épocas de siembra. Promedio dos repeticiones. Cuyamapa, Yoro.*

Tratamientos	Porcentaje (%)				
	N	P	K	6.2	3.9
Mucuna 0 DDSM	2.30	0.72	0.14	6.3	3.5
Mucuna 30DDSM	2.31	0.44	0.15	6.2	3.9
Mucuna 60 DDSM	2.24	0.33	0.13	6.5	3.9
Mucuna 90 DDSM	2.21	0.42	0.17	1.71	0.43

DDSM = Días Después de Siembra de Maíz., * = Análisis realizado por el laboratorio de Análisis de Suelo-Agua-Planta de la Secretaría de Recursos Naturales.

Cuadro 5. Análisis económico por presupuesto parciales para cada tratamiento con su respectivo rendimiento, obtenido en Los Hornitos y Cuyamapa, Yoro, Año 1992.

Trat.	Rend. (t/ha)	Rend. Ajust.	Ben. Bruto	Costo Var	Ben. Neto
Los Hornitos					
Maíz Mono	4.10	3.69	1827	150	1677
Aso 0 DDS	3.90	3.51	1737	229	1508
Aso 30 DDS	3.50	3.15	1559	244	1315
Aso 60 DDS	3.90	3.51	1737	299	1438
Aso 90 DDS	3.90	3.51	1737	376	1361
Cuyamapa					
Maíz Mono	6.80	6.12	3029	150	2879
Aso 0 DDS	6.20	5.58	2762	239	2523
Aso 30 DDS	6.30	5.67	2807	244	2563
Aso 60 DDS	6.20	5.58	2762	299	2463
Aso 90 DDS	6.50	5.85	2896	376	2520

CONCLUSIONES

- Estos resultados evidenciaron que es viable el asocio simultaneo de mucuna con maíz, utilizando baja densidad de siembra de la leguminosa sin reducir los rendimientos de maíz.
- La mucuna logró cubrir un 38% de suelo a los 60 días después de la siembra de maíz, en el asocio simultaneo.
- La parte aérea de mucuna aportó en promedio un 2.3 % de N; 0.48% de P; 0.15 de K; 2.4 % de Ca y 0.48 % de Mg
- La práctica de asociar mucuna entre los cero y sesenta días después de sembrado el maíz produjo entre 2 y 3 Ton/ha de biomasa seca de la leguminosa.
- Inicialmente asociar mucuna en cualquier época después de siembra del maíz, resultó más costoso que el maíz en monocultivo.
- Evaluar en un segundo ciclo residual el efecto de la leguminosa sobre las propiedades físico-químicas del suelo bien como su implicación en los costos de establecimiento del cultivo de maíz.

REFERENCIAS

- CIMMYT 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México. 79 p
- Lara, F.M.; Monroy, J.C. y López, G.R. 1989. Evaluación de épocas de siembra del frijol de abono (*Mucuna sp.*) cuando asociado al maíz (*Zea mays L.*) en la región de Santa Bárbara. Memoria V Semana Científica, Curla-Unah p.10.
- Pascua R.A. 1992. Comportamiento del maíz (*Zea mays L.*) criollo con y sin labranza y tres niveles de fertilización sobre los restos de frijol de abono (*Mucuna sp.*) en la región de occidente. Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Secretaría de Recursos Naturales. p. 15-19.
- Vieira, C. 1985. O feijao em cultivos consorciados. Vicoso. Universidade Federal. p.4-5.
- Zea, J.L., et al. 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. Programa Regional de Maíz. Análisis de los ensayos regionales de Agronomía 1990. p.27-41.

Respuesta del Sistema Maíz-Maicillo y Maíz-Frijol a Distintos Niveles de Mantillo bajo Labranza de Conservación

Heriberto Sosa¹ y Jorge Bolaños²

RESUMEN

No cabe duda que proteger el suelo con los residuos del cultivo anterior es una práctica benéfica para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas en ladera. Durante 1991-92 se instalaron 10 ensayos en suelos de ladera con pendientes mayores al 30% y problemas de erosión y baja fertilidad en fincas de agricultores de Opico, Textistequeque y Guaymango, El Salvador. El objetivo fue evaluar el efecto de 0, 10, 20 y 30 t/ha de residuos del ciclo anterior como mantillo sobre el rendimiento del sistema (maíz-maicillo o maíz-frijol) en comparación con la práctica del agricultor, tipificando los niveles predominantes de rastrojo. Los sistemas de maíz-maicillo y maíz-frijol dejan cerca de 8-10 y 5-6 t/ha de residuos, respectivamente. Todos los tratamientos recibieron 150 kg N y 30 kg P₂O₅/ha pero se estableció un testigo del agricultor con 105 kg N y 60 kg P₂O₅/ha, y se usaron los híbridos H-53 de maíz, el maicillo 'Corona' y el frijol 'Rojo de Seda'. Se usó un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones. Los rendimientos de maíz a través de las 10 localidades fueron de 3.83, 4.05, 4.15 y 4.19 ton/ha para 0, 10, 20 y 30 ton/ha de mantillo, respectivamente. El análisis por gráficas de estabilidad muestra que 10 y 20 ton/ha de mantillo aumentan el rendimiento de maíz en 0.25 y 0.30 ton/ha sobre el tratamiento sin mantillo a través de todos los ambientes evaluados. Niveles de 30 ton/ha de mantillo mostraron una interacción significativa de tratamiento*localidad, teniendo un efecto negativo en ambientes con alto potencial de rendimiento. No se detectó un efecto significativo sobre el rendimiento de maicillo o frijol. Los niveles de mantillo tuvieron efecto en peso de mazorca, pero no en pl/m², mz/m² o mz/pl. El testigo del agricultor (a 150 kg N/ha) rindió similar al tratamiento con 10 ton/ha de mantillo, y 0.40 ton/ha por arriba del mismo tratamiento con solamente 105 kg N/ha, mostrando una respuesta positiva a aplicaciones adicionales de N. La respuesta positiva en rendimiento de maíz a niveles de mantillo se debe interpretar tomando en consideración los altos niveles usados de N (150 kg/ha). Debido a que los residuos tienden a inmovilizar parte del N disponible, aplicaciones de mantillo en sistemas con poca disponibilidad de N pueden tener un impacto negativo en la productividad del sistema.

El Salvador ha sido pionero en la adopción de la labranza de conservación para la producción de maíz en laderas. En el área de Metalío-Guaymango, el uso de la labranza de conservación en un sistema de maíz-maicillo, con manejo de rastrojos y la no-quema, ha sido adoptada y ampliamente difundida entre los agricultores desde hace aproximadamente 15 años en

unas 3 mil hectáreas de maíz en zona de laderas (Calderón *et al.*, 1991). La efectividad de la práctica de dejar el rastrojo como mantillo superficial para controlar la erosión y mejorar el balance hídrico se debe parcialmente al tipo de sistema de producción dominante en la zona. El sistema maíz-maicillo produce más de 10 t/ha de rastrojo, lo que permite un cierto pastoreo durante el verano dejando todavía suficiente para proteger el suelo (Calderón *et al.*, 1991). La poca biomasa disponible y las necesidades de pastoreo en la época seca son las principales limitaciones a la adopción de esta práctica en otras zonas.

Existe una conciencia bastante generalizada que el manejo inapropiado e intensivo de los suelos de ladera ha tenido consecuencias severas en términos del deterioro del recurso base suelo. Se estima que más del 60% del maíz se siembra en condiciones de ladera en la región de Centro América y el Caribe. Existen reportes de tasas anuales de pérdida de suelo de más de 100 t/ha/año en sistema maíz-frijol en suelos con pendientes de 30% en El Salvador (Sheng, 1982), y otros con niveles de 200 a 3600 t/ha/año en laderas cultivadas en Guatemala (NRC, 1991).

No cabe duda que proteger el suelo con los residuos del cultivo anterior es una práctica benéfica para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas en ladera dada su efectividad en controlar la erosión (Lal, 1984). Estudios diversos, han mostrados que el mantenimiento de por lo menos 60% del suelo cubierto por un mantillo vegetal reduce considerablemente el potencial de erosión (Stocking, 1988). Sin embargo, el manejo de los residuos como mantillo superficial del suelo requiere entendimiento de los procesos de descomposición del residuo y las relaciones C:N del residuo (Barreto, 1989). Aplicación de residuos con relación C:N altas pueden inmovilizar parte del N disponible (Barreto, 1989).

Los objetivos de este estudio son evaluar el efecto de niveles de mantillo sobre el rendimiento del sistema maíz-maicillo y maíz-frijol en comparación con la práctica del agricultor.

¹ Investigador del Programa de Maíz, CENTA, El Salvador, ² Agrónomo Regional para Centro América y el Caribe, CIMMYT, Guatemala.

MATERIALES Y METODOS

Los experimentos reportados se instalaron durante 1991 y 1992 en suelos de ladera con pendientes mayores al 30% y problemas de erosión y baja fertilidad en fincas de agricultores de Opico, Texistepeque y Guaymango, El Salvador, en las áreas de influencia de las agencias del Ministerio de Agricultura (MAG). En 1991 se establecieron 6 ensayos (reportadas por Sosa *et al.*, 1992), manteniéndose 4 de estas localidades con el mismo esquema de tratamientos en 1992 (Cuadro 1).

Se evaluaron 6 tratamientos en un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones por localidad. Se establecieron 4 niveles de mantillo: 0, 10, 20, 30 y el testigo con el nivel de mantillo dejado por el sistema a 150 kg N/ha y 30 kg P₂O₅/ha, y un sexto tratamiento con la práctica del agricultor (nivel residuo del sistema con 105 kg N/ha y 60 kg P₂O₅/ha). Se usó el residuo de maíz-maicillo del ciclo anterior fuente para los ensayos. Previo a la siembra se pesaron las cantidades de rastrojo necesario para los tratamientos de 0 a 30 t/ha de mantillo. Se efectuó una cuantificación de los niveles de rastrojo en cada uno de los sitios experimentales para establecer los 2 tratamientos con estos niveles. Los sistemas de maíz-maicillo y maíz-frijol en Guaymango, Texistepeque y Opico dejan cerca de 8-10 y 5-6 ton/ha de residuos, respectivamente). Los rastrojos se aplicaron sobre la superficie limpia del terreno en las cantidades medidas. Al momento de la siembra se aplicó la mitad del N y todo el P (57 kg/ha P₂O₅), utilizando como fuente urea y la formula 16-20-0. A los 35 días después de la siembra se efectuó la segunda fertilización usando sulfato de amonio.

Cuadro 1. Descripción de las localidades de los ensayos de niveles de mantillo en 1991-1992, El Salvador.

	Año	Nombre	Localidad	Sistema
1	1991	R.Escalante	Guaymango	Maíz-Maicillo
2	1991	A.Batres	Guaymango	Maíz-Maicillo
3	1991	E.Méndez	Texistepeque	Maíz-Maicillo
4	1991	J.L.Alberto	Texistepeque	Maíz-Maicillo
5	1991	V.Chávez	Opico	Maíz-Frijol
6	1991	P.Henríquez	Opico	Maíz-Frijol
7	1992	R.Escalante	Guaymango	Maíz-Maicillo
8	1992	A.Batres	Guaymango	Maíz-Maicillo
9	1992	P.Henríquez	Opico	Maíz-Frijol
10	1992	V.Chávez	Opico	Maíz-Frijol

Para el control de malezas se usó paraquat a una dosis de 1.2 kg i.a./ha. Las plagas del suelo fueron controladas con aplicaciones de Lorsban 2.5 g en una dosis de 32 kg/ha y las plagas del follaje con Tamaron 600 a razón de 1 lt/ha. Se usaron los híbridos H-53 de maíz, el maicillo 'Corona' y el frijol 'Rojo de Seda'. Cada parcela fue de 10 surcos de 6 m de largo, sembrado a densidades promedios de 5.0 pl/m² con 0.8 entre surcos y 0.4 m entre posturas con 2 plantas por postura. Se cosecharon los 8 surcos centrales para un área útil de 29 m².

Al momento de la cosecha, se determinó el número de plantas, mazorcas sanas y podridas, y se determinó el peso de campo y humedad de grano del maíz. Se estimaron los componentes estándares de rendimiento. Se tomó una muestra de 24 plantas al azar, cortándose estas al pie de la base, y determinando su peso para estimación de biomasa. El índice de cosecha se determinó como la proporción del grano en la biomasa después de descontar el olote. Se cosechó además el frijol y maicillo.

Los experimentos para los cultivos de maíz-maicillo y/o maíz-frijol se instalaron sobre-impuestos usando las mismas aleatorizaciones y planos de campo empleados en la fase maíz. El maicillo se sembró cerca de la floración del maíz a una densidad de 15 pl/m², y el frijol después de la dobla del maíz a una densidad de 20 pl/m² dentro de los surcos del maíz a chuzo (una hilera con maicillo y dos hileras con frijol). El maicillo y frijol recibieron la fertilización del agricultor de 70 kg N/ha para maicillo y 40 kg N/ha para frijol. En ambos cultivos se usó urea como fuente, pero en el maicillo se aplicó la mitad a la siembra y la otra mitad a los 30 días, mientras que en el frijol se aplicó toda a la siembra. En el maicillo, se determinó número panojas y plantas, humedad y peso de grano. En frijol, se determinó el número de plantas, humedad de grano y peso de grano.

Se realizó análisis de varianza por localidad y combinado. Se utilizó además un método gráfico de estabilidad basado en la regresión entre la media de cada tratamiento contra la media ambiental para ciertas variables. También se utilizó diagramas de dispersión del efecto neto haciendo comparaciones apareadas de interés. En cada sitio experimental se tomó una muestra de suelo a una profundidad de 0-10 cm para análisis de laboratorio de pH, materia orgánica, textura, P, K, y elementos menores.

RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 2 muestra las medias de rendimiento y sus componentes para maíz, así como el rendimiento del cultivo relevo, maicillo y/o frijol a través de las 10 localidades. El rendimiento promedio de maíz fue de 3.83, 4.05, 4.15 y 4.19 t/ha para niveles de 0, 10, 20 y 30 t/ha de mantillo, sin detectarse una interacción tratamiento x localidad significativa en el análisis combinado. No se detectó ningún efecto significativo del mantillo en la densidad de plantas o mazorcas ni en la prolificidad (pl/m², mz/m² o mz/pl) pero sí en el peso promedio de mazorcas, que es una variable calculada dividiendo el peso de campo ajustado a 15% de humedad y descontando el olote entre el número total de mazorcas en la parcela. El pesmz aumenta de 81 a 89 g/mz, o sea, 8 g/mz adicionales, que a una densidad de cosecha de 4.5 mz/m², significa un aumento en rendimiento de 0.36 t/ha.

La biomasa total del maíz combinada a través de las 10 localidades aumenta a medida que se aumenta el nivel de mantillo aplicado, con una producción adicional de biomasa de más de 1.0 t/ha con 30 t/ha de mantillo en comparación en el testigo sin mantillo. No se detectan diferencias significativas en el rendimiento de maicillo y/o frijol residual. El testigo del agricultor (a 150 kg N/ha) rindió similar al tratamiento con 10 t/ha de mantillo, y 0.40 t/ha por arriba del mismo tratamiento con solamente 105 kg N/ha, mostrando una respuesta positiva a aplicaciones adicionales de N de los usados por los agricultores. La Figura 1 muestra un diagrama de dispersión del efecto neto sobre el rendimiento de maíz (t/ha) de aplicaciones de 150 kg N/ha en comparación con 105 kg N/ha a niveles de mantillo testigos del sistema del

agricultor. En promedio, el rendimiento aumenta 0.40 t/ha con una desviación estándar de 0.65 t/ha con aplicaciones adicionales de 45 kg de N/ha. Asumiendo un precio relativo de maíz/nitrógeno de 4 a 1, 45 kg/ha adicionales de N costarían el equivalente de 180 kg/ha de maíz, bastante por debajo del beneficio adicional de 400 kg/ha de maíz.

El análisis gráfico muestra el efecto de niveles de mantillo sobre el rendimiento del maíz más claramente (Figura 2a,b,c). Solamente se muestra el efecto sobre rendimiento de grano, peso de mazorca y biomasa total de maíz.

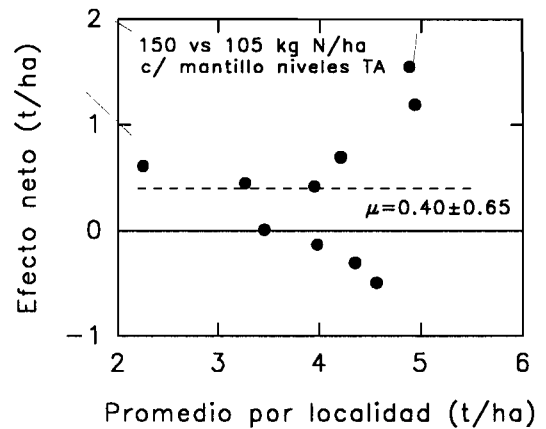


Figura 1. Diagrama de dispersión del efecto neto sobre el rendimiento de maíz (t/ha) de aplicaciones de 150 kg N/ha en comparación a 105 kg N/ha bajo niveles de mantillo testigos del sistema del agricultor a través del potencial de rendimiento ambiental de 10 localidades, El Salvador, 1991-1992.

Cuadro 2. Medias de rendimiento y sus componentes para maíz-maicillo y maíz-frijol a través de 10 localidades en 1991 y 1992 en El Salvador.

Mant	N	maíz								maicillo t/ha	frijol t/ha
		pl/m ²	mz/m ²	mz/pl	pesmz	rendg t/ha	rendr t/ha	biomt t/ha	ic %		
0	150	5.27	4.59	0.87	81	3.83	5.72	9.79	35.3	2.75	1.46
10	150	5.39	4.63	0.86	85	4.05	6.03	10.35	35.3	3.02	1.47
20	150	5.37	4.72	0.88	85	4.15	6.00	10.42	36.0	2.41	1.57
30	150	5.23	4.60	0.88	89	4.19	6.38	10.84	35.2	2.48	1.52
TA	105	5.41	4.62	0.86	77	3.67	5.77	9.68	34.3	2.50	1.66
TA	150	5.38	4.77	0.89	83	4.07	5.90	10.24	36.0	2.57	1.67
Media		5.34	4.66	0.87	83	3.99	5.96	10.22	35.4	2.62	1.56
EED		0.18	0.21	0.08	4	0.35	0.46	0.54	2.1	0.23	0.11
Ftrt		ns	ns	ns	***	**	***	***	ns	ns	ns
Ftxl		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

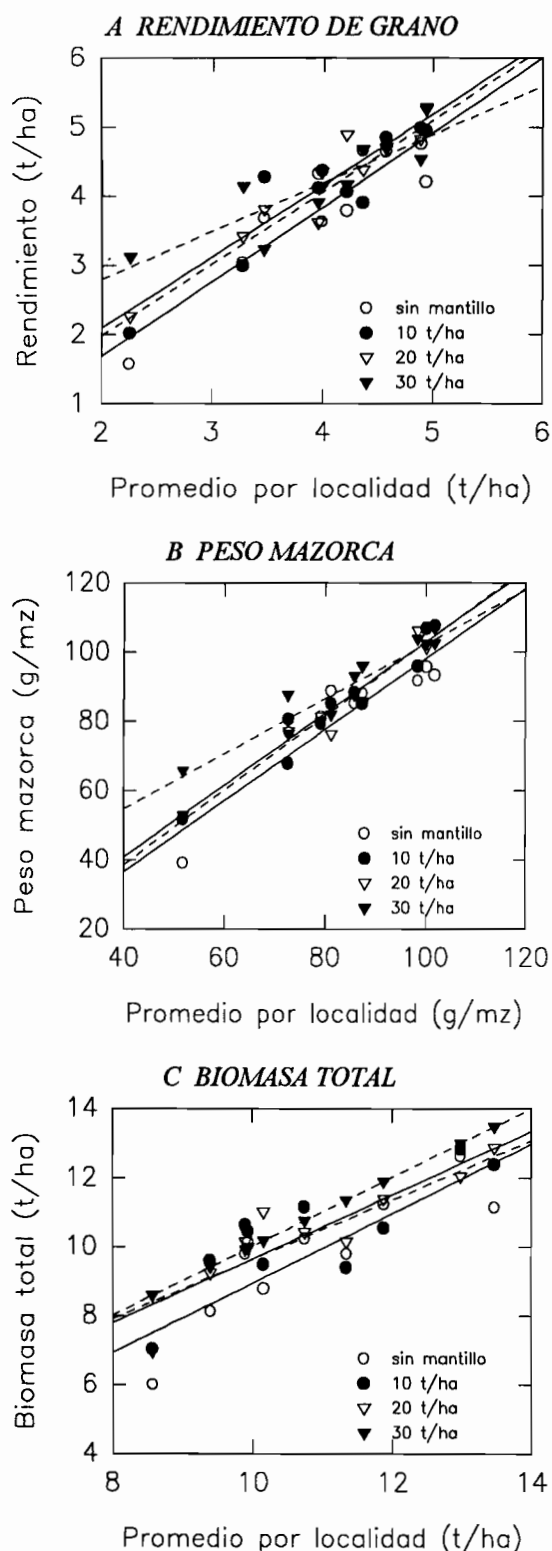


Figura 2. Relación entre rendimiento, peso de mazorca y biomasa del maíz contra el potencial ambiental respectivo para 0, 10, 20 y 30 t/ha de mantillo y 150 kg de N/ha en 10 localidades de El Salvador, 1991-1992.

Para rendimiento de grano, en el rango de ambientes evaluados (de 2 a 6 t/ha de rendimiento potencial), adiciones de 10 o 20 t/ha de mantillo aumentan el rendimiento de maíz en 0.25 y 0.30 t/ha, respectivamente, sobre el testigo sin mantillo, sin interacción con el potencial ambiental (Figura 2a). Niveles de 30 t/ha de mantillo sobre el testigo sin mantillo muestran una interacción con el potencial ambiental, aumentando el rendimiento casi 1.0 t/ha en ambientes de bajo potencial de rendimiento, pero disminuyendolo en -0.3 t/ha en ambientes con potencial superior a 5.0 t/ha (Figura 2a).

La Figura 2b muestra la misma relación para la variable peso de mazorca, mostrando que el efecto de niveles de mantillo sobre rendimiento es a través de mazorcas más grandes, sin cambios significativos en pl/m^2 , mz/m^2 o mz/pl (datos no mostrados). Esta ganancia en tamaño de mazorca puede darse por un número mayor de granos o un mayor peso de grano. Al igual que con rendimiento, el peso de mazorca muestra las mismas ausencias de interacción con el potencial ambiental para niveles de 10 y 20 t/ha, y una interacción significativa para los 30 t/ha de mantillo.

Sin embargo, la biomasa total del maíz parece aumentar consistentemente con 10, 20 y 30 t/ha de mantillo (Figura 2c). El hecho que la biomasa aumenta consistentemente con aplicaciones de 0 a 30 t/ha de mantillo, pero el rendimiento de grano muestra interacción con el ambiente, sugiere que el índice de cosecha es el componente de rendimiento que muestra las interacciones. En estos ensayos, dada la aplicación de 150 kg N/ha, la variación en el potencial ambiental se debe fundamentalmente a problemas de balance hídrico y períodos de sequía. El hecho que la biomasa del maíz aumenta consistentemente con niveles de mantillo sugiere una mayor captación de agua por los niveles de 30 t/ha de mantillo. Si asumimos una eficiencia de producción de maíz por unidad de agua de 25 kg de biomasa por mm de agua transpirada, esto sugiere una captación adicional de 40 mm de agua en comparación con el testigo sin mantillo.

La Figura 3 muestra los componentes de rendimiento para las 10 localidades evaluadas durante 1991 y 1992. El rendimiento tuvo un rango de 2.0 a 5.0 t/ha, asociados principalmente a variación en el peso de mazorca y en menor escala al número de mazorcas cosechadas (Figura 3). La densidad final de plantas se mantuvo relativamente constante por arriba de 5.0 pl/m^2 , la densidad teórica buscada en los

ensayos, y no ejerció ninguna influencia sobre el rendimiento del maíz. En contraste, en muchos otros ensayos agronómicos, la densidad final de plantas normalmente decrece por debajo de 4.0 a 4.5 pl/m².

CONCLUSIONES

A niveles de 150 kg N/ha, el rendimiento de maíz se incrementa de una forma constante con niveles de 10 y 20 t/ha de mantillo en comparación al testigo sin mantillo, pero muestra interacción con niveles de 30 t/ha de mantillo. A estos niveles elevados, el rendimiento aumenta en ambientes con potencial de rendimiento bajo, pero disminuye en ambientes con alto potencial. Niveles de mantillo de la práctica del agricultor a 150 kg N/ha se asemejan a 10 t/ha de mantillo a la misma dosis de N.

Se detecta un aumento significativo de 0.4 t/ha con aplicaciones de 150 kg N/ha en comparación con 105 kg N/ha a niveles testigos de mantillo del sistema del agricultor. Esta respuesta física en rendimiento es rentable.

REFERENCIAS

Barreto, H. 1989. Cambios en propiedades químicas, patrones de fertilización y enclamiento en suelos bajo labranza cero. p. 43-70 en: Barreto et al. (eds) Labranza de conservación en maíz, CIMMYT-PROCIANDINO, México.

Calderón, F., H. Sosa, V. Mendoza, G. Saín y H. Barreto. 1990. Aspectos institucionales de la adopción y difusión de la labranza de conservación en Metalío-Guaymango. En: Análisis de los Ensayos Regionales de Agronomía, CIMMYT, Guatemala.

Lal, R. 1984. Soil erosion from tropical arable lands and its control. *Adv. Agron.* 37:183-247.

National Research Council. 1991. *Toward sustainability.* Washington, DC, National Academy Press.

Sheng, T.C. 1982. Erosion problems associated with cultivation in humid tropical hilly regions. p. 27-40 en: S.A. El-Swaify (ed), *Soil erosion and conservation in the tropics.* ASA Spec. Pub. 43, ASA, Madison, WI.

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. pp. 105-114 en *Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1991*, Guatemala.

Stocking, M.A. 1988. Assessing vegetative cover and management effects. In R.Lal (ed) *Soil erosion research methods*, SWCS, Ankeny, Iowa.

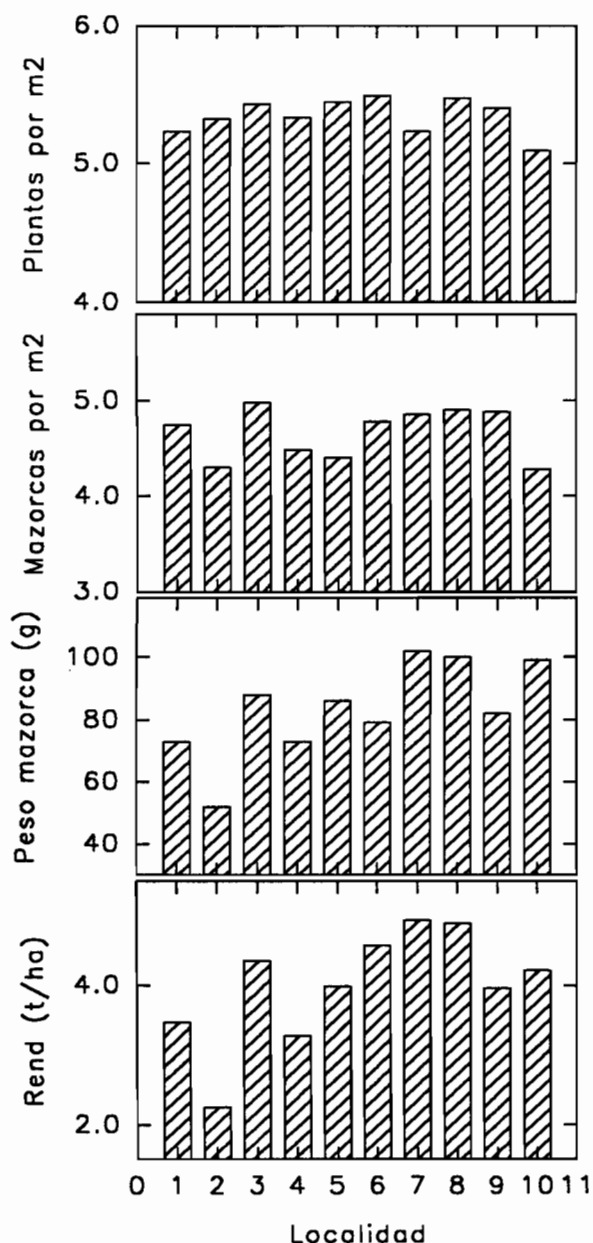


Figura 3. Rendimiento de grano (t/ha), peso de mazorca (g/mz), número de mazorcas y plantas por m² promedios a través de tratamientos experimentales para las 10 localidades con ensayo de niveles de mantillo en 1991 y 1992, El Salvador. El número de la localidad se identifica con la descripción dada en el Cuadro 1.

Respuesta Diferencial del Maíz a la Labranza de Conservación a Distintas Dosis de Nitrógeno

H.Sosa¹, J.Pérez², J.L. Zea³, M. Fuentes³, G. López⁴ y J.Bolaños⁵

RESUMEN

En la región de Centro América cerca del 60% del maíz se siembra en suelos de ladera, típicamente con métodos que erosionan rápidamente los suelos. Ante este contexto, el PRM ha impulsado investigación sobre la labranza de conservación usando de los residuos del cultivo anterior como mantillo superficial. Debido al potencial de inmovilización de parte del N disponible por la descomposición del mantillo, el objetivo de este trabajo era enfocarse en esta interacción. En 1992 se instalaron 8 ensayos regionales con distintos niveles de mantillo (0, 5 y 10 ton/ha) a varias dosis de N (0, 100 y 150 kg N/ha en Honduras y Nicaragua y 0, 75 y 150 kg N/ha en Guatemala). A pesar que los tratamientos específicos variaron un poco en cada país, el análisis permitió evaluar la respuesta a mantillo en función de la dosis de N aplicada. Se encontró una fuerte relación negativa entre el efecto neto del mantillo y el potencial ambiental, y aplicaciones de 5 o 10 ton/ha de mantillo tuvieron un efecto similar a iguales dosis de N. El efecto neto del mantillo (5 o 10 ton/ha) sobre el rendimiento del maíz (cero mantillo) varió en función de la dosis de N y del potencial ambiental. Con bajas dosis de N (0 y 75 kg N/ha) este fue de $Y = -0.04 - 0.22 * X$, y con altas dosis de N (100 y 150 kg N/ha) esta fue de $Y = 0.63 - 0.11 * X$. En ambientes con potencial ambiental de 2.0 a 3.0 ton/ha, usar mantillo con bajas dosis de N reducen el rendimiento cerca de -0.60 ton/ha, pero usarlo con altas dosis de N incrementan el rendimiento cerca de 0.35 ton/ha. En ambientes de 4.0-5.0 ton/ha, usar mantillo con bajas niveles de N reduce el rendimiento más de -1.0 ton/ha y con altos niveles de N lo aumenta en 0.15 ton/ha. Los resultados sugieren que recomendar el uso de mantillo sin considerar la dosis de N puede tener impactos negativos en el rendimiento del maíz.

En la región de Centro América cerca del 60% del maíz se siembra en suelos de ladera, típicamente con métodos que degradan y erosionan rápidamente los suelos. Ante este contexto, el Programa Regional de Maíz (PRM) ha impulsado investigación sobre la respuesta del maíz a la labranza de conservación usando de los residuos del cultivo anterior como mantillo superficial (Sosa, 1992; Sosa y Bolaños, 1993). Existen esfuerzos de transferir el manejo de rastrojos como mantillo superficial a otras regiones de la región.

¹ Investigador de Maíz, CENTA, El Salvador. ² Investigador de Maíz, CNIGB, Nicaragua. ³ Investigadores de Maíz, ICTA, Guatemala. ⁴ Investigador de Maíz, SRN, Honduras. ⁵ Agrónomo Regional para Centro América y el Caribe, CIMMYT, Guatemala.

Sin embargo, la aplicación de niveles de mantillo al suelo puede alterar profundamente muchos procesos (Barreto, 1989). Los cambios en las relaciones de mineralización e inmovilización del N como resultado de la acumulación diferencial, en el perfil del suelo, de la materia orgánica bajo labranza cero, han sido documentados, y en general indican que el potencial de inmovilización bajo labranza cero es mayor (Barreto, 1989). En muchos casos, más de la mitad del N aplicado en el fertilizante se inmoviliza bajo labranza cero en comparación con la labranza convencional (Barreto, 1989). Estos mismos reportes indican que la inmovilización se da en los primeros 7-10 días después de la aplicación del fertilizante, implicando que la toma de nutrientes por el cultivo puede verse afectada en los estadios iniciales del desarrollo, con impactos negativos en la productividad.

Es importante resaltar la importancia de la relación C:N del rastrojo para entender la mineralización de los residuos vegetales y la disponibilidad de N bajo labranza cero (Barreto, 1989). La relación C:N del residuo de maíz-maicillo oscila entre 60-80, en comparación con los residuos de leguminosas de cobertura, que tienen C:N entre 15-20. Cuando los residuos tienen C:N altos, la descomposición de estos tiene una demanda fuerte de N, lo que puede causar una inmovilización del N disponible en el suelo. Aplicaciones de residuos con C:N inferiores a 20 resultan en una mineralización neta de N durante la descomposición de estos. Debido a que los residuos de maíz-maicillo tardan más de 6 meses en descomponerse, esto significa una inmovilización importante del N disponible para el cultivo de maíz. Estudios a largo plazo sugieren que la baja disponibilidad del N causada por la inmovilización es temporal estableciéndose un nuevo equilibrio en las relaciones de mineralización e inmovilización del suelo (Barreto, 1989). Por tanto, el objetivo de este trabajo es enfocarse en la interacción entre niveles de mantillo por niveles de N a través de distintos ambientes de la región. Otro objetivo es examinar las bases agronómicas y fisiológicas de la posible interacción entre mantillo y dosis de N.

MATERIALES Y METODOS

Se establecieron ensayos en las localidades de Jutiapa y La Máquina en Guatemala, 2 ensayos en Texistepeque en El Salvador, Yoro en Honduras, y San Cristóbal y Masatepe en Nicaragua en 1992. Los ensayos de Jutiapa, La Máquina y San Cristóbal se establecieron en campos experimentales, mientras que los de Texistepeque, Yoro y Masatepe en campos de agricultores. Se evaluaron varias dosis de N (0, 100 y 150 kg N/ha en Honduras y Nicaragua; y 0, 75 y 150 kg N/ha en Guatemala, y solamente 0 y 150 kg N/ha en El Salvador) en un arreglo factorial incompleto con dosis de mantillo (0, 5 y 10 t/ha para todos los ensayos) (Cuadro 1). A pesar que los tratamientos específicos variaron un poco en cada país, el análisis permitió evaluar la respuesta a mantillo en función de la dosis de N aplicada, y vice versa. Todos los tratamientos recibieron 30 kg P₂O₅/ha. Se utilizó la fuente de fertilizante común en cada localidad.

Cada parcela fue de 6 surcos de 5 m de largo en surcos a 0.8 m y posturas a 0.4 m con 2 plantas por postura para una densidad teórica de 5.3 pl/m². A la cosecha solamente se usaron los 4 surcos centrales. Se usó la variedad de maíz recomendada para cada localidad, tratándose la semilla para control de plagas de suelo, y manteniéndose el cultivo libre de malezas, plagas y enfermedades, según el caso. Al momento de la cosecha, se determinó el número de plantas, mazorcas sanas y podridas, el peso de campo y la humedad de grano. Se estimaron los componentes estándares de rendimiento. Se tomó una muestra de 24 plantas cortándose al pie de la base, y determinando su peso seco para estimación de biomasa. El índice de cosecha se estimó como la proporción del grano en la biomasa total después de desontar el olote.

Se realizó análisis de varianza por localidad. Se extractaron los tratamientos en común para un análisis combinado. Sin embargo, se usó el análisis gráfico de diagrama de dispersión de diferencias entre tratamientos apareados de interés. Se incluyeron además los tratamientos apareados de interés de los ensayos reportados por Sosa y Bolaños (1993) sobre el efecto de dosis de mantillo sobre el rendimiento de maíz-maicillo y maíz-frijol en 10 localidades de El Salvador en 1991-1992. El Cuadro 2 presenta la estructura de tratamientos de estos ensayos. El Cuadro 3 resume las comparaciones apareadas que incluye el análisis gráfico.

Cuadro 1. Estructura de tratamientos en los ensayos de mantillo x nitrógeno en 1992.

Trt	Jutiapa La Máquina		Texistepeque (2 ensayos)		SCristóbal Masatepe Yoro	
	Mant t/ha	Nitr kg/ha	Mant t/ha	Nitr kg/ha	Mant t/ha	Nitr kg/ha
1	0	0	0	150	0	TA
2	0	75	5	150	0	100
3	0	150	10	150	5	0
4	5	0	0	0	5	100
5	5	75	TA	100	5	150
6	5	150	TA	150	10	0
7	10	0			10	100
8	10	75			10	150
9	10	150				

TA refleja la cantidad de rastrojo testigo del sistema del agricultor, oscilando entre 4.0-5.0 t/ha en promedio.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos de 10 ensayos de 1991-1992 incluidos en el análisis (ver reporte de Sosa y Bolaños, 1993).

Trat	Mantillo t/ha	Nitrógeno kg/ha
1	0	150
2	10	150
3	20	150
4	30	150
5	TA	105
6	TA	150

TA refleja el nivel de rastrojo del sistema del agricultor, entre 5.0-6.0 t/ha promedio.

Cuadro 3. Tratamientos apareados usados para estimar el efecto neto del mantillo sobre el maíz sin mantillo a distintas dosis de nitrógeno y producir los diagramas de dispersión a través de 17 ensayos en Centro América, 1991-1992.

Mant	N	Diff	Localidad	Cuadro	
10 vs 0	150	trt 2 - trt 1	10	ESalv	2
10 vs 0	150	trt 3 - trt 1	2	Texis1/2t	1
10 vs 0	150	trt 9 - trt 3	2	LMq/Jut	1
10 vs 0	100	trt 7 - trt 2	3	Yo/SC/Mas	1
10 vs 0	75	trt 8 - trt 2	2	LMq/Jut	1
10 vs 0	0	trt 7 - trt 1	2	LMq/Jut	1
5 vs 0	150	trt 5 - trt 1	10	ESalv	2
5 vs 0	150	trt 6 - trt 3	2	LMq/Jut	1
5 vs 0	150	trt 2 - trt 1	2	Texis 1/2	1
5 vs 0	100	trt 4 - trt 2	3	Yo/SC/Mas	1
5 vs 0	75	trt 5 - trt 2	2	LMq/Jut	1
5 vs 0	0	trt 4 - trt 1	2	LMq/Jut	1
Total			42		

Se hicieron comparaciones apareadas entre los siguientes tratamientos: a) efecto de 10 t/ha de mantillo en comparación con 0 t/ha de mantillo a 150 kg N (trt 2 - trt 1 en 10 locs del Cuadro 2), (trt 3 - trt 1 en 2 locs en Texistepeque del Cuadro 1), 2 locs en Guatemala en 1992), a 100 kg N/ha (3 localidades en Nicaragua y Honduras en 1992), y a 0 y 75 kg N/ha (2 localidades en Guatemala en 1992). b) Efecto de 5 t/ha de mantillo en comparación con 0 t/ha de mantillo a 150 kg N (10 localidades de 1991-1992 (trt 5 - trt 1 en 10 locs del Cuadro 2), (trt 2 - trt 1 en 2 locs en Texistepeque del Cuadro 1), (trt 6 - trt 3 en 2 locs en Guatemala en 1992), a 100 kg N/ha (trt 4 - trt 2 en 3 localidades en Nicaragua y Honduras en 1992), y a 0 y 75 kg N/ha (trt 5 - trt 2 y trt 4 - trt 1 en 2 localidades en Guatemala). Estas comparaciones se hicieron para rendimiento de grano de maíz y los componentes de rendimiento.

RESULTADOS Y DISCUSION

A pesar que los tratamientos específicos variaron un poco en cada país, el análisis por diferencias permitió evaluar la respuesta a mantillo en función de la dosis de N aplicada. La Figura 1 muestra el efecto neto de aplicar 5 o 10 t/ha de mantillo en comparación con maíz sin mantillo a dosis altas de N (100 o 150 kg N/ha) o dosis bajas de N (0 o 75 kg N/ha) para rendimiento, pl/m², mz/m², mz/pl, peso de mazorca y biomasa total a través de diversas comparaciones apareadas en 17 ensayos en Centro América en 1991 y 1992. En la mayoría de los casos, no hubo grandes diferencias significativas entre los niveles de 5 o 10 t/ha de mantillo, a pesar que la Figura 1 muestra distintos símbolos y regresiones para cada nivel de mantillo para ilustración del lector. Sin embargo, existieron grandes diferencias con dosis de N, clasificadas en bajas (0 y 75 kg N/ha) y altas (100 y 150 kg N/ha) (símbolos abiertos vs. cerrados).

A pesar que en la Figura 1 se incluyen símbolos y regresiones para 5 y 10 t/ha y dosis altas y bajas de N, debido a la dispersión de los datos quizás la media y la desviación estándar son estadísticas descriptivas más apropiadas que la línea de regresión. El Cuadro 4 presenta la media y desviación estándar del efecto combinado de 5 o 10 t/ha de mantillo a ambas dosis de N para las variables estudiadas, debido a que el efecto de 5 y 10 t/ha no presentan diferencias.

Cuadro 4. Media y desviación estándar para el efecto neto de las comparaciones apareadas entre 5 o 10 t/ha de mantillo sobre maíz sin mantillo a dosis bajas (0, 75 kg N/ha) y altas (100, 150 kg N/ha) de N a través de 17 ensayos en Centro América, 1991-1992.

	N alto		Nbajo	
	Media	Desv	Media	Desv
Pl/m ²	0.05	0.28	-0.49	0.53
Mz/m ²	0.10	0.34	-0.57	0.39
Mz/pl	0.02	0.07	-0.03	0.04
Pesmz (g)	3.0	8.9	-5.1	11.9
Rendg (t/ha)	0.19	0.54	-0.81	0.43
Rendr (t/ha)	0.18	0.55	-0.86	0.54
Biomt (t/ha)	0.40	1.00	-1.73	0.93
IndCos %	0.5	2.6	-0.5	4.3

Para rendimiento, dosis de 5 o 10 t/ha de mantillo a niveles altos de N tuvieron un efecto promedio positivo de 0.19 t/ha, pero decreciente a través de un rango de potencial ambiental de 2 a 6 t/ha. En ambientes de 2 t/ha, el efecto es neto de 0.52 t/ha, pero en ambientes de 6 t/ha, el efecto es casi cero (Figura 1, Cuadro 4). En contraste, con niveles bajos de N, el efecto del mantillo fue en promedio negativo de -0.81 t/ha en comparación con maíz sin mantillo a dosis equivalentes de N, y este efecto negativo se incrementó a medida que el potencial ambiental aumentó. En ambientes de bajo potencial de rendimiento, mantillo con bajas dosis de N pueden reducir el rendimiento en -0.7 t/ha (cerca de 30%), y más de 1.0 t/ha en ambientes con rendimientos superiores a 5.0 t/ha (25%).

Un análisis de las causas en los componentes de rendimiento sobre el efecto neto del mantillo revela hechos interesantes (Figura 1). A altas dosis de N, el mantillo no afecta la densidad final de plantas (pl/m²), de mazorcas (mz/m²) ni el número de mazorcas por planta (mz/pl) significativamente. Adiciones de mantillo a dosis bajas de N sí reducen considerablemente la densidad final de plantas (-0.49 pl/m²) y de mazorcas (-0.57 mz/m²), pero sin afectar el número de mazorcas por planta. En algunos casos, se pierde hasta más de 1.0 pl/m² o mz/m² (10 mil pl/ha y mz/ha) con adiciones de mantillo a dosis bajas de N, en especial en ambientes de bajo potencial de rendimiento. Es de notar que estos ambientes ya de hecho se encuentran limitados por una baja densidad de población, y el efecto del mantillo aún reduce más la densidad final.

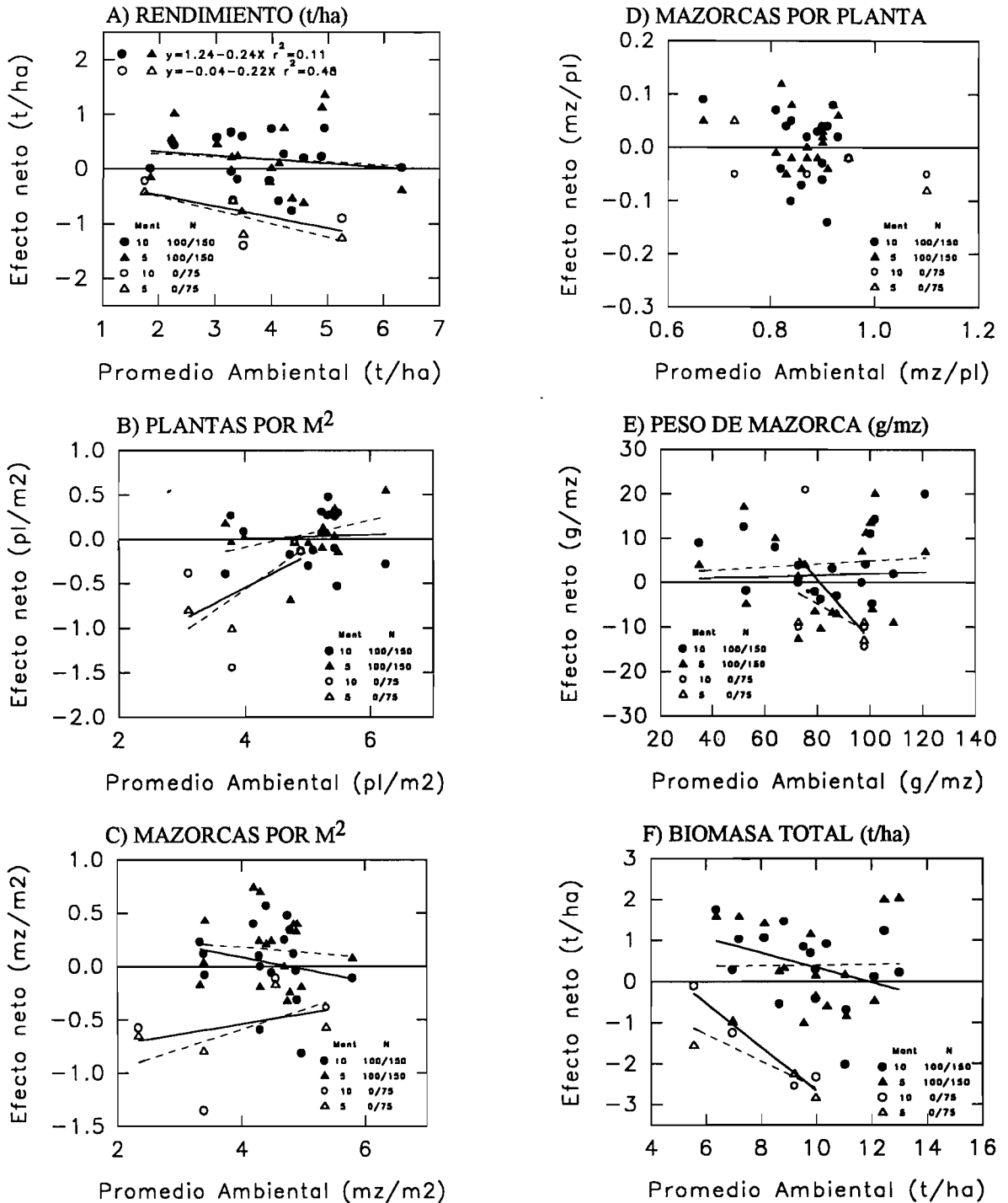


Figura 1. Diagramas de dispersión del efecto neto de 5 o 10 t/ha de mantillo sobre el rendimiento, pl/m², mz/m², mz/pl, peso de mazorca y biomasa del maíz sin mantillo a dosis bajas (0, 75 kg N/ha) y altas de N (100, 150 kg N/ha) a través de 17 ensayos en Centro América en 1991-1992. Símbolos abiertos reflejan bajas dosis de N y cerrados dosis altas.

En el caso de la prolificidad, es interesante notar que el mantillo no afecta consistentemente a esta variable a distintas dosis de N. En el caso de muchos otros estreses ambientales, como la sequía, baja fertilidad, etc., este parámetro es muy sensitivo (Bolaños y Barreto, 1990). Se nota un efecto muy marcado del mantillo a distintas dosis de N sobre el peso promedio de las mazorcas. En promedio, adiciones de mantillo a dosis bajas de N reducen el peso promedio de mazorcas en -5.1 g/mz, mientras que lo aumenta 3 g/mz a dosis altas de N.

En el caso de la biomasa total del maíz, el efecto neto de mantillo a dosis altas de N es positivo, pero decreciente, a medida que aumenta el potencial ambiental. En ambientes de bajo potencial ambiental, el mantillo a dosis altas de N aumenta la producción de biomasa en más de 1.0 t/ha. A dosis bajas de N, el mantillo tiene un efecto bastante negativo sobre la productividad, al igual que con rendimiento y muchos de los componentes de rendimiento. En ambientes con potencial superior a 5.0 t/ha, el efecto neto del mantillo sin N puede reducir la biomasa en más de 2 t/ha. En promedio, el mantillo a dosis altas de N aumenta la biomasa en 0.40 t/ha, pero la reduce en 1.73 t/ha a dosis bajas de N. El efecto del mantillo sobre el índice de cosecha es menor, a dosis altas aumentandolo en 0.5% y disminuyendolo en -0.5% a dosis bajas de N, consistente con la ausencia de efecto sobre el índice de prolificidad (Cuadro 4).

Un análisis de los efectos netos del mantillo permiten especular sobre los posibles mecanismos que controlan la interacción entre mantillo y dosis de N. En ambientes con alta aplicación de N, el sistema se encuentra limitado por otros factores, posiblemente el balance hídrico. El incremento detectado en la biomasa total sugiere un aumento en la captación hídrica. Las dosis altas de N superan las posibles limitaciones impuestas por una inmovilización del N disponible en el sistema. Sin embargo, a dosis bajas de N, el efecto neto del mantillo es negativo por -0.81 t/ha, efecto que parece aumentar a medida que aumenta el potencial ambiental. A bajas dosis de N el mantillo reduce fuertemente el número de pl/m^2 y por ende el número de mz/m^2 (5 mil mz/ha menos). Sin embargo, hay poco efecto del mantillo a dosis bajas de N en el peso de mazorcas, en la prolificidad (mz/pl), o en el índice de cosecha. Es notorio el marcado efecto neto negativo en la producción de biomasa promedio de -1.73 t/ha por adiciones de mantillo a bajas dosis de N. Este efecto sugiere una

reducción marcada en la eficiencia fotosintética del cultivo y su tasa de crecimiento, ya que el mantillo aumenta la captación hídrica del sistema.

En ambientes de 2.0 t/ha de potencial de rendimiento (5.0 a 6.0 t/ha de biomasa), el maíz requiere de 100 a 120 kg N/ha para sostener el 2% de contenido de N en su biomasa. Si asumimos que el suelo puede mineralizar de 60 a 80 kg/ha naturalmente, el fertilizante aplicado con dosis altas (más de 100 kg N/ha) es suficiente para sostener la descomposición del rastrojo además de la demanda por el cultivo. Sin embargo, a dosis bajas de N el sistema se vuelve limitado por la baja disponibilidad de N. En ambientes con potencial de rendimiento aún mayor, por ejemplo, cercano a 5.0 t/ha de grano (biomasa de 10 a 12 t/ha), el cultivo tiene una demanda total de N de 200 a 240 kg/ha. Adiciones de rastrojo con bajas dosis de N en sistemas con tal demanda de N se verán fuertemente limitados por la disponibilidad de N, con consecuencias en la productividad alcanzable. A estos balances preliminares hay que añadir la demanda de N por el cultivo de relevo, presente en muchos de los sistemas estudiados. Aquí el sistema se ve limitado por los bajos niveles de N, además de las posibles limitaciones por efectos hídricos.

REFERENCIAS

- Barreto, H. 1989. Cambios en propiedades químicas, patrones de fertilización y enclamiento en suelos bajo labranza cero. pp. 43-70 en H.J. Barreto et al., (Eds), Labranza de Conservación en Maíz, PROCIANDINO-CIMMYT, México.
- Bolaños, J. y H. Barreto. 1990. Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de agronomía, 1991. pp. xx en Análisis de Resultados Experimentales de Agronomía, 1990, Guatemala.
- Sosa, H. 1992. Efecto de la cantidad de mantillo en el rendimiento de los sistemas de maíz-sorgo y maíz-frijol bajo labranza cero, El Salvador, 1991. pp. 105-114 en Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1991, 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 Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4, Guatemala.

Respuesta del Cultivo de Maíz a la Aplicación de Fósforo y Azufre en la Región de Azuero, Panamá 1989-1992

R. Gordón¹, N. De Gracia¹, A. González¹, J. Franco¹, A. de Herrera² y W. Raun³

Durante los últimos cuatro años se han realizado en la Región de Azuero en Panamá, 39 ensayos exploratorios de maíz, para observar la respuesta a P variando fuentes, métodos de aplicación y dosis. Además se evaluó la respuesta de la aplicación de S. El diseño experimental usado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos evaluados consistieron de tres fuentes de P (Roca Fosfórica, Super Fosfato Triple y Fórmula), dos métodos de aplicación (chuzo y voleo) y diferentes dosis de aplicación de P. Se incluyeron otros tratamientos, para evaluar el efecto de combinar yeso con P juntos en una misma banda y la respuesta de la aplicación de S. La ganancia promedio en rendimiento calculada a través de los 11 experimentos del Ciclo A, utilizando 30, 60 y 90 kg P₂O₅/ha fue de 0.52 ± 0.64, 0.79 ± 0.81 y 0.48 ± 0.55 t/ha, respectivamente. En el Ciclo B y C las ganancias de la aplicación de P fueron menores que en el primer ciclo. Analizando la respuesta de P en los ensayos nacionales se observa que la mayoría es positiva en todos los niveles evaluados, lo que comprueba que el cultivo responde a la aplicación de este elemento. La respuesta al P usando como fuente la RF fue superada por el SFT en el primer ciclo de evaluación (Ciclo A). En el Ciclo B se observó que la tendencia de las respuestas es lo contrario, la RF supera al SFT en la mayoría de las localidades. La aplicación de P junto con yeso en una misma banda no fue significativa en el Ciclo A, en comparación con la aplicación de ambos elementos por separados. En el tercer ciclo (Ciclo C) se observó los beneficios de aplicar el yeso y el P juntos en una misma banda. Se encontró que la ganancia promedio de aplicarlos juntos fue de 0.28±0.34 t/ha. Se encontró respuesta a la aplicación de P en el cultivo de maíz. El 82, 91 y 100% de los ensayos mostraron respuestas físicas o positivas en rendimiento a las aplicaciones de 30, 60 y 90 kg/ha utilizando como fuente el SFT respectivamente, sin embargo, la proporción de respuesta económicas fue de 64, 73 y 37% a las mismas dosis, por lo que se recomienda su aplicación entre 30 y 60 kg P₂O₅/ha. La respuesta a la aplicación de S fue significativa, es menor de 0.5 t/ha pero consistente a través de todos los años y localidades.

Según estudios realizados en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), se ha podido determinar que la mayoría de los suelos en Panamá tienen niveles bajos de P y se espera que muestren una respuesta positiva a la aplicación de este elemento (Name y Cordero, 1987). De igual forma se tiene evidencias de la respuesta del cultivo de maíz a la aplicación del S en los suelos de la Región de Azuero (Gordón *et al.*, 1989a, 1989b, 1991). Sin embargo, la

evaluación de métodos de aplicación de P en combinación con otros nutrientes no han recibido mucha atención, especialmente las aplicaciones consolidadas en banda, bajo el sistema de labranza de conservación, con uso de residuos como mantillo.

Los trabajos de Lindsay (1979) indican que la inclusión de cationes tales como NH₄⁺, K⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ en los fertilizantes facilita que entren a formar parte de los productos iniciales de reacción con el fertilizante fosfórico. El fosfato monocálcico (Ca(H₂PO₄)₂·H₂O) la fuente principal de P en super fosfato simple (SFS) y Super fosfato triple (SFT) contienen suficiente Ca para precipitar la mitad del P como fosfato dicálcico (FD) o fosfato dicálcico dihidratado (FDD) (Lindsay, 1979). La solubilidad del FD se incrementa cuando el sulfato de amonio se aplica junto con una fuente de P-ortofosfato (Starostka y Hill, 1955). Miller *et al.* (1970) demostraron que la disminución del pH en la rizósfera como resultado de la absorción de NH₄⁺, podría aumentar la relación de H₂PO₄⁻/HPO₄⁻ y así incrementar la disponibilidad del P en el suelo.

La RF presenta ciertas ventajas en suelos ácidos, principalmente una mayor disponibilidad debido a su mayor solubilidad bajo condiciones ácidas. La acidez del suelo es el factor principal que determina la disponibilidad del P a partir de la RF, ya que, a pH bajo se favorece la disolución del apatito (Joos y Black, 1950). Otra ventaja que existe en algunas áreas es que el precio de la roca es de 50 a 75 % más barata que otras fuentes tradicionales de P. Aún al considerar el pH como el factor mas importante con relación a la disponibilidad de RF en el suelo, trabajos realizados por Chu *et al.* (1962), demostraron que la textura y la cantidad de Fe en los suelos afectaba la eficiencia del uso del P a partir de esta fuente.

En 1988, se iniciaron ensayos de fertilidad de suelos por el Programa Regional de Maíz (PRM) con el objetivo principal de estudiar la respuesta a aplicaciones de distintas fuentes y dosis de P y S, y desde 1990 el Programa de Maíz del IDIAP incluyó evaluaciones de diferentes dosis de P y S en este cultivo.

De manera general los objetivos de estos trabajos fueron: 1) Evaluar la respuesta del maíz a diferentes

¹Agrónomos, ²Economista IDIAP, Centro Regional de Azuero, Panamá y ³Profesor Asistente Oklahoma State University, USA.

dosis/ha de P y S; 2) Estimar el efecto de aplicar S como sulfato de calcio (yeso) junto con el P en forma localizada en comparación a P localizado y al S aplicado al voleo; 3) Evaluar la roca fosfórica (RF) como una fuente alternativa de P; 4) Estimar diferencias en la eficiencia del uso de la RF en relación al SFT; y 5) Evaluar la respuesta del maíz a aplicaciones de S como Sulfato de Calcio.

MATERIALES Y METODOS

Ensayos Regionales del PRM

En 1989, 1990 y 1991 se realizaron 3, 4 y 4 experimentos respectivamente, para evaluar la respuesta a P en el cultivo de maíz (Ciclo A). De estos 11 experimentos 8 (2 de 1989, 3 de 1990 y 3 de 1991) pasaron a ser evaluados en ensayos residuales de segundo ciclo (Ciclo B). Luego a 4 de ellos se les evaluó en un tercer ciclo residual (Ciclo C) (3 de 1990 y 1 de 1989).

La descripción de los tratamientos se presenta en el Cuadro 1. Estos tratamientos se aplicaron en el primer ciclo del cultivo (Ciclo A). Las fuentes de P evaluadas fueron: la roca fosfórica (RF) (0-30.5-0), la fórmula común utilizada en el país (FOR) (15-30-8) y el super fosfato triple (SFT) (0-46-0). Las dosis de 30 y 60 kg de P_2O_5 /ha y la dosis de S se evaluaron con dos métodos de aplicación, uno al voleo en forma superficial sobre la hilera de maíz (sin incorporación) al momento de la siembra y otro aplicado en chuzo (banda) también a la siembra. En los dos últimos años se incluyó la dosis de 90 kg de P_2O_5 /ha. Todos los tratamientos llevaban 40 kg (1989) y 20 kg de S/ha (1990 y 1991, respectivamente) en forma de yeso ($CaSO_4$). Todo el yeso fue aplicado chuzado junto al P y/o al voleo. Se aplicó 100 kg N/ha un 50% al momento de la siembra y el resto a los 35 días después de la siembra (dds).

En los ciclos residuales (Ciclos B y C) a todos los tratamientos se le aplicó únicamente nitrógeno, a razón de 100 kg/ha en forma de urea, a excepción del testigo del agricultor (TAGR), el cual llevaba todos los años la dosis de 227 kg de 15-30-8/ha más 227 kg de urea. En el Cuadro 2 se reporta el análisis del suelo de las localidades en donde se realizaron estos ensayos y la descripción taxonómica de estos.

Cuadro 1. Estructura de tratamientos utilizados en la evaluación de la respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de P y S, Azuero, Panamá.

Trat	Fuente de P ¹	Dosis kg P ₂ O ₅ /ha	Método de Aplicación	
			P	S
1989 (Tres Localidades)				
1	RF	30	Voleo	Voleo
2	RF	30	Chuzo	Chuzo
3	RF	60	Voleo	Voleo
4	RF	60	Chuzo	Chuzo
5	FOR	30	Voleo	Voleo
6	FOR	30	Chuzo	Chuzo
7	FOR	60	Voleo	Voleo
8	FOR	60	Chuzo	Chuzo
9	SFT	30	Voleo	Voleo
10	SFT	30	Chuzo	Chuzo
11	SFT	60	Voleo	Voleo
12	SFT	60	Chuzo	Chuzo
13	TESTIGO	0	---	Voleo
14	RF	30	Chuzo	Voleo
15	SFT	30	Chuzo	Voleo
16	SFT	30	Chuzo	Sin S
17	RF	30	Chuzo	Sin S
18	FOR	30	Chuzo	Sin S
19	TAGR	68		Sin S
1990 (Cuatro Localidades)				
1	RF	30	Voleo	Voleo
2	RF	60	Voleo	Voleo
3	RF	90	Voleo	Voleo
4	SFT	30	Chuzo	Chuzo
5	SFT	30	Chuzo	Voleo
6	SFT	60	Chuzo	Chuzo
7	SFT	60	Chuzo	Voleo
8	SFT	90	Chuzo	Chuzo
9	SFT	60	Chuzo	SIN S
10	SFT	60	Voleo	Voleo
11	FOR	60	Chuzo	Chuzo
12	TEST	0	---	Voleo
13	TEST	0	---	SIN S
14	TAGR	68	Chuzo	SIN S
Trat	Dosis de kg P ₂ O ₅ /ha	Dosis de S (kg)	Dosis de N (kg)	
1	0	0	100	
2	30	0	100	
3	60	0	100	
4	90	0	100	
5	0	20	100	
6	30	20	100	
7	60	20	100	
8	90	20	100	
9	0	0	0	
10	60	0	200	
11 ¹	60	20	100	
12	TAGR	0		

¹ RF = roca fosfórica, FOR = fórmula, SFT = super fosfato triple

¹ En el tratamiento 11 la fuente de P fue la RF

Cuadro 2. Principales características de los suelos, Azuero, Panamá, 1989-1991.

Localidad	pH	P µg/ml	Ca --meq/100 ml--	Mg	Al	M.O. %
Parita	5.6	3.70	16.1	8.7	tr	2.68
Cocobola ¹	5.6	2.50	13.4	11.2	tr	2.41
La Honda	5.5	3.27	6.6	4.8	tr	3.22
TabAbajo ²	5.8	5.70	18.6	15.7	tr	3.35
Pedernal	5.6	1.2	12.3	9.5	0.1	3.22
París	5.9	2.0	6.0	2.5	tr	0.94
Manantial	5.7	2.5	13.8	14.9	tr	4.02

pH - 1:2.5; P - Melich I doble ácido; M.O. - Oxidación con Dicromato de Potasio, ¹Las Tablas; ²Comadre Abajo

El diseño experimental utilizado en estos años fue de bloques completos al azar con 3 repeticiones por localidad. El tamaño de las parcelas fue de 4 (1989), y 5 surcos de 5 m de largo (1990 y 1991). La población de maíz fue aproximadamente 53,000 plantas/ha; ésto se consiguió con una distancia de siembra de 0.75 m entre hileras y 0.50 m entre golpes con dos plantas por golpe. La semilla fue tratada con el insecticida furatiocarb a razón de 8 g i.a./ha. Se realizó un control adecuado de malezas en cada ensayo con una aplicación de una mezcla de atrazina más pendimentalina en dosis de 2 + 2 l/ha, con posteriores limpiezas manuales, por escapes del control de algunas malezas.

Ensayos del Programa Nacional

Se realizaron 16 experimentos en la Región en el período de 1990 a 1992 (3 en 1990, 7 en 1991 y 6 en 1992) en diferentes localidades de Herrera y Los Santos. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones. La dosis de P evaluadas en 1990 fueron de 50 y 100 kg/ha. En 1991 se evaluaron las dosis de 30, 60, 90, y 120 kg P₂O₅/ha. En el 92 las dosis fueron de 20, 40 60 y 80 kg P₂O₅/ha. El tamaño de las unidades experimentales consistió de una parcela de cuatro surcos de 5.5 m de largo. La población de maíz fue de aproximadamente 53,000 plantas/ha.

Metodología del Análisis Gráfico de las Respuestas

En el análisis de los experimentos se utilizó la diferencia en rendimiento entre los tratamientos de fertilización y el testigo sin P, graficado en función del potencial de rendimiento ambiental (media general del

ensayo en esa localidad). Una respuesta positiva (ubicada en la parte superior del eje cero) indica que el tratamiento con fertilización superó al testigo en la localidad evaluada. Una diferencia con valor cero indica que los dos tratamientos rindieron igual en esa localidad. A la muestra de diferencias para cada dosis de fertilizante se le determinó el promedio y su desviación estándar para poder cuantificar la probabilidad de respuesta económica normalizada con respecto a la no aplicación, utilizando la metodología descrita por Eskridge y Mumm (1992), citada por Córdova *et al.*, (1993).

Metodología del Análisis Económico

Un primer nivel de análisis consistió en evaluar la consistencia de los efectos experimentales en términos económicos. Para esto se determinó el porcentaje y cuantificó la probabilidad de encontrar respuestas que están por arriba de un aumento crítico en rendimiento para las diferentes dosis de P fertilizante.

Este es el incremento mínimo en rendimientos de maíz necesario para compensar el aumento en costos totales implicados por el cambio tecnológico de fertilización con P. El incremento en rendimiento mínimo para cada dosis se calculó de la forma siguiente:

$$R = (Q * r_p)$$

Donde Q es la cantidad de nutrientes (P₂O₅) por unidad de área; r_p es la relación de precios relativos entre el nutriente (P₂O₅) y el producto (maíz). La relación de precios relevante se calcula como (Jauregui y Sain, 1990).

$$r_p = \frac{(P_p + CA) (1 + R)}{(PCm) * (1 - \alpha)}$$

Donde P_p es el precio de campo del P₂O₅ (0.79\$ /kg); CA es el costo de aplicación (0.05\$ /kg); R es la tasa mínima de retorno (15 %); PCm es el precio de campo del maíz (0.19\$ /kg) y α es el porcentaje de ajuste estimado en los rendimientos experimentales (10 %)

Un segundo nivel de análisis consistió en la evaluación económica de las diferentes alternativas tecnológicas, utilizando la técnica de presupuesto parcial y el análisis marginal, que relaciona los beneficios netos y los costos que varían asociados a cada tratamiento. Este análisis se efectuó de manera parcial tomando algunos tratamientos que fueron repetidos por varios años. Consistió básicamente, en comparaciones

específicas, por ejemplo: entre fuentes de P, dosis de SFT, y entre la mejor dosis de P y la práctica del agricultor (TAGR).

RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a la identificación realizada, los suelos en donde se realizaron estos ensayos indican que son del orden Alfisol sub-orden ustalf. De todas las localidades, La Honda es la que presenta más baja precipitación con menos de 300 mm por año, a excepción de 1990. En las otras localidades la precipitación osciló entre 300 y 800 mm por año. En el año 1991 los rendimientos se vieron drásticamente reducidos por la intensa sequía que se observó en la región. Durante el año 1992 se observaron períodos de escasa precipitación (Cuadro 3). El análisis del suelo de todos estos ensayos indica que son suelos que van de ácidos a ligeramente ácidos (pH 5.6 a 5.9). El contenido de P es variable observándose valores que van de 1.2 a 5.7 µg/ml, lo que podría explicar el porqué en ciertas localidades la respuesta a este elemento es mayor que en otras. En general son suelos con muy baja toxicidad de aluminio y bajo contenido de materia orgánica. (Cuadro 2)

Respuesta en Rendimiento de Maíz a la Aplicación de P como SFT

Los promedios de rendimiento para los tratamientos en común y las diferentes localidades en cada experimento se presentan en el Cuadro 5. El análisis estadístico preliminar indicó que el SFT a las

diferentes dosis evaluadas fue el fertilizante que presentaba la mayor consistencia en las respuestas a través de los diferentes ensayos en donde se evaluó el primer ciclo (Ciclo A) y por esta razón se uso para ilustrar la respuesta al P. En todos los años la respuesta a la aplicación de P fue altamente significativa, observándose incrementos hasta 2.0 t/ha, dependiendo de la localidad.

La ganancia promedio en rendimiento calculada a través de los 11 experimentos del Ciclo A, utilizando 30, 60 y 90 kg P₂O₅/ha fue de 0.52 ± 0.64 , 0.79 ± 0.81 y 0.48 ± 0.55 t/ha, respectivamente. Estas respuestas mostraron una relación algunas veces lineal y otras cuadrática cuando fueron analizadas estadísticamente con el uso de contrastes ortogonales. En el Ciclo B y C las ganancias de la aplicación del P fueron menores que en el primer ciclo (Figura 1). La dosis de 90 kg P₂O₅/ha fue la que mantuvo un porcentaje alto de respuestas positivas en los dos ciclos siguientes (42 y 67%, respectivamente).

La respuesta a la aplicación del P varió de acuerdo a la presencia del S. En el Ciclo A la respuesta en presencia de 20 kg S/ha fue de 0.39 ± 0.44 , 0.68 ± 0.65 y 0.53 ± 0.46 t/ha para los niveles de 30, 60 y 90 kg de P/ha, respectivamente. La respuesta en ausencia de S, para estos mismos niveles fue 0.40 ± 0.31 , 0.42 ± 0.47 y 0.83 ± 0.98 t/ha (Figura 1). Analizando la respuesta del P en los ensayos nacionales (Figura 2) se observa que la mayoría es positiva en todos los niveles evaluados, lo que comprueba que el cultivo responde a la aplicación de este elemento. También se encontró que al analizar estos datos la respuesta fue cuadrática ($y=2,324 + 19.689 P - 0.092P^2$).

Cuadro 3. Precipitación pluvial ocurrida durante el período de crecimiento del cultivo (septiembre- diciembre) en los cuatro años de evaluación de la respuesta a P y S, Azuero, Panamá 1989-1992.

Fecha	Precipitación (mm)											
	Parita				La Honda				Las Tablas			
	1989	1990	1991	1992	1989	1990	1991	1992	1989	1990	1991	1992
15 Sep			15	25			45	15				
30 Sep	142	149	146	151	44	86	71	75	81	234		78
15 Oct			84	99			62	35				140
31 Oct	90	305	28	113	59	185	32	94	99	276		66
15 Nov			5	18			10	18				56
30 Nov	254	65	8	36	100	164	7	16	108	164		19
15 Dic			0	21			30	4				0
31 Dic	66	114	0	0	88	44	13	0	138	141		0
Total	552	633	286	463	291	483	270	258	426	815		359

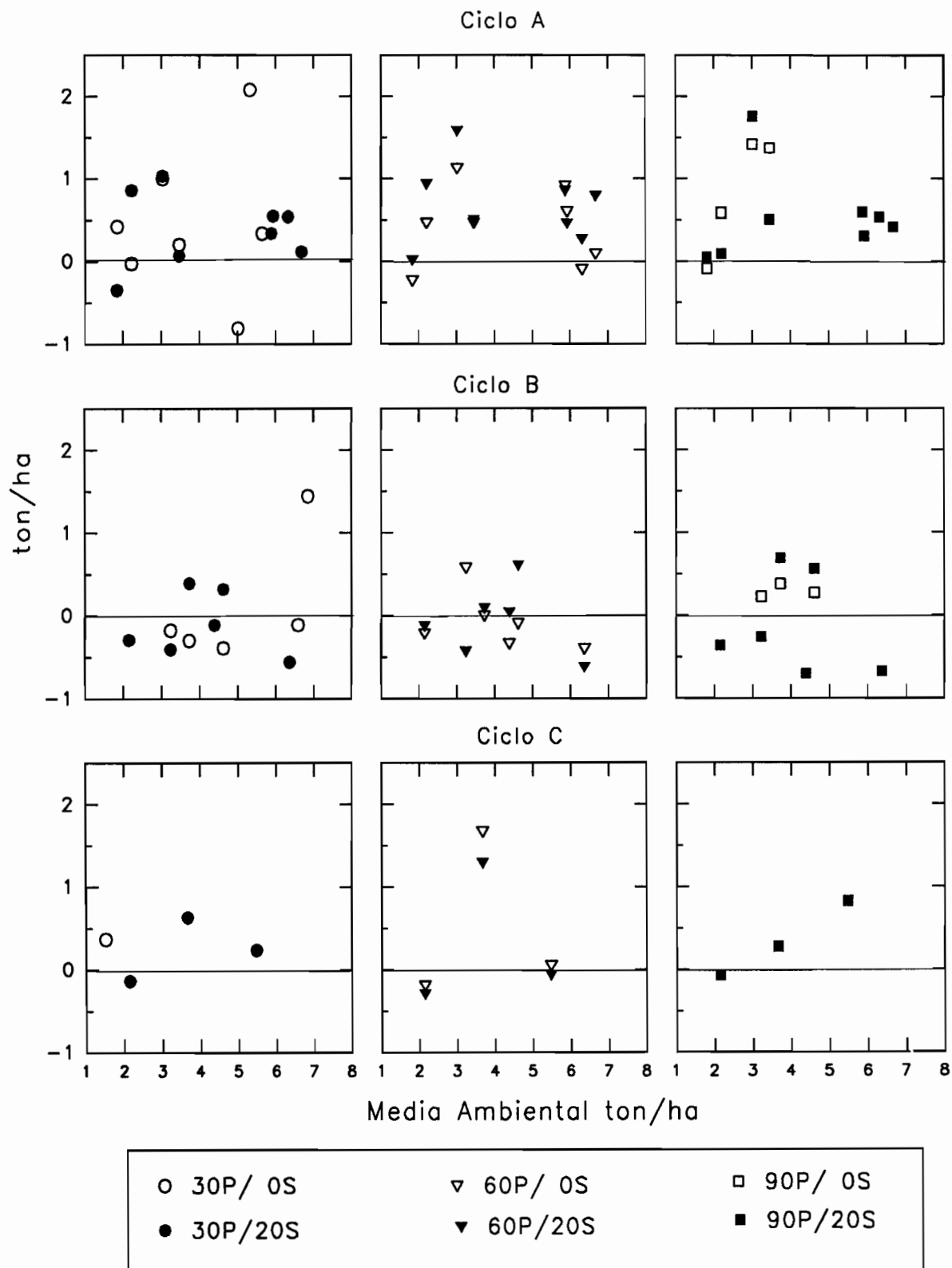


Figura 1. Respuesta del maíz a la aplicación de tres niveles de P bajo dos niveles de S, en tres ciclos de cultivo. Azuero 1989-1992.

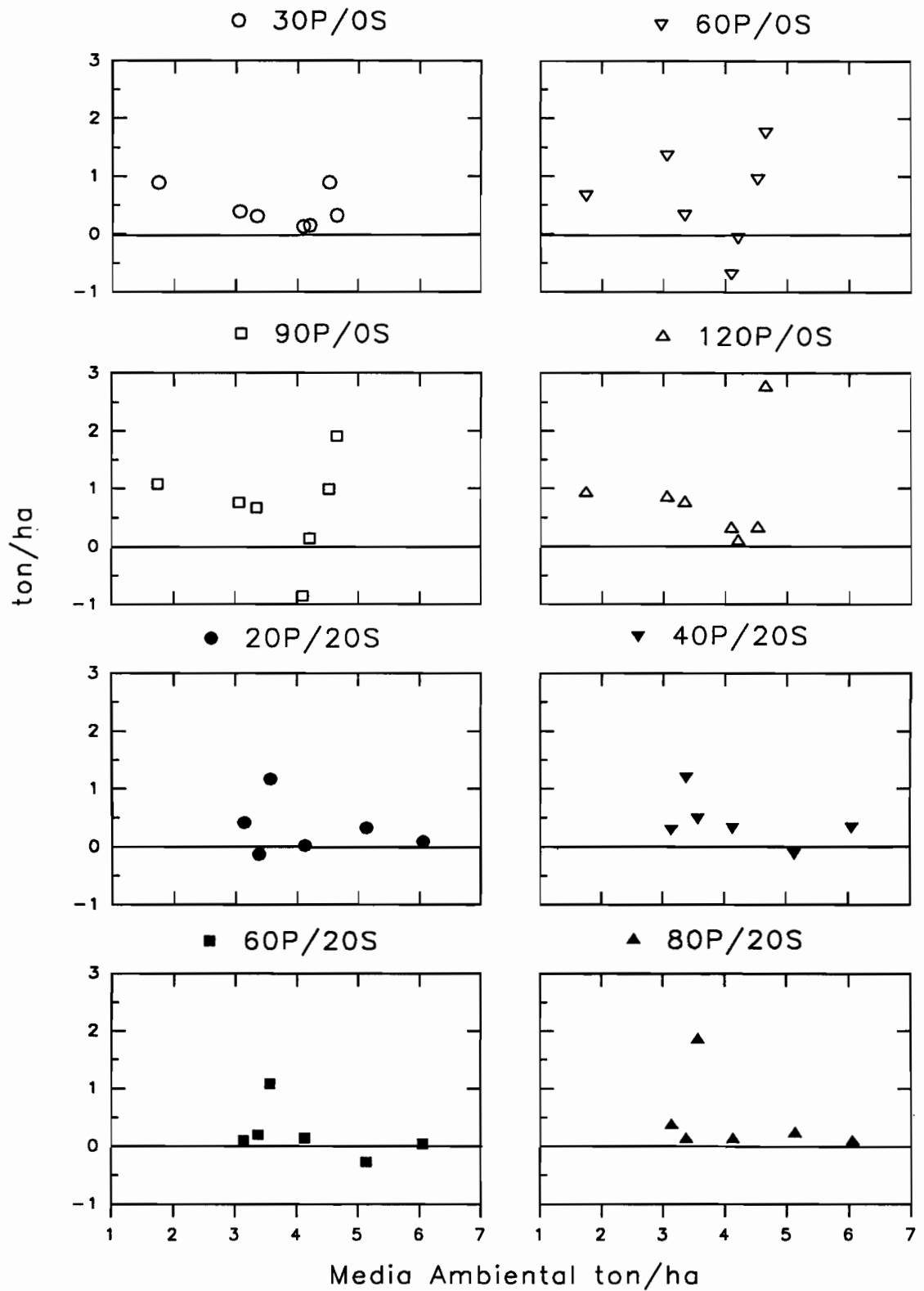


Figura 2. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de P con 0 y 20 kg de S, Azuero, 1990-1992.

Respuesta a la Roca Fosfórica (RF)

La respuesta a la RF fue superada por el SFT en el primer ciclo de evaluación (Ciclo A). Se encontró que el 64 y 86% de las diferencias fueron con signo negativo (por debajo del nivel cero), para las dosis de 30 y 60 kg/ha, respectivamente. En el Ciclo B se observó que la tendencia de las respuestas es lo contrario, la RF supera al SFT en la mayoría de las localidades. En este ciclo el 63 y 80% de las diferencias fueron positivas para ambas dosis, respectivamente. Este resultado se puede explicar porque la RF es de disolución lenta en suelos con pH entre 5 y 6, mientras que el P en el SFT estuvo más disponible en el primer ciclo. Sin embargo, debido a que la dosis de RF no se incorporó con el suelo subyacente en los ensayos realizados bajo labranza cero, la disponibilidad de P para el cultivo en el primer Ciclo de evaluación, podría haber sido limitante a causa de su baja solubilidad además por ser un nutriente inmóvil. Ya para el segundo ciclo, al estar más disponible el P de la RF, se encontró una mayor respuesta para esta fuente. En el Ciclo C no se observó un patrón definido en las diferencias (Figura 3).

La respuesta de la RF para las tres dosis evaluadas con respecto al nivel de cero fue de 0.58 ± 0.47 , 0.35 ± 0.42 y -0.01 ± 0.35 t/ha para las dosis de 30, 60 y 90 kg P_2O_5 /ha respectivamente. Se observó que el mayor rendimiento se obtiene con el nivel de 30 kg de P_2O_5 /ha y luego el mismo va bajando hasta el nivel de 90 kg. Una de las desventajas para su uso comercial está en la dificultad de aplicarla en el campo (voleo), ya que aumenta los costos y su aplicación resulta más difícil que la del SFT. De acuerdo a los resultados obtenidos, una alternativa del manejo de la fertilización con P en estos suelos sería la aplicación conjunta de las dos fuentes, dado la respuesta diferencial observada a través de ciclos.

Efecto del Método de Aplicación del P

La aplicación del P junto con el yeso en una misma banda no fue significativa en el Ciclo A, en comparación con la aplicación de ambos elementos por separados. Se observó una gran dispersión de los valores de la diferencia entre los dos métodos (-0.009 ± 0.374 t/ha). En el segundo ciclo de evaluación se encontró que la mayoría de los valores se encuentran cerca del nivel cero, sin diferencia entre los dos métodos. El promedio de la respuesta en este ciclo fue de -0.086 ± 0.134 t/ha. En el tercer ciclo (Ciclo C) es que se observaron los beneficios de aplicar el yeso y el P juntos en una misma banda. Se encontró que la

ganancia promedio de aplicarlos juntos fue de 0.289 ± 0.346 t/ha (Figura 4).

El efecto positivo observado en el tercer ciclo de siembra, se pudo deber a que el yeso es poco soluble y la disociación lenta del mismo, favoreció la formación de los compuestos FDD y FD, los cuales se mantuvieron disponibles para la planta, proporcionándole el P que éstas necesitaron en este ciclo. A pH bajos los precipitados de FDD y FD serían lentamente solubles y de esta manera se reduciría la cantidad de P que pudo estar en contacto con los óxidos e hidróxidos de Fe y Al, lo que disminuiría su fijación. Savant y Racz (1973) han discutido la importancia de los productos de reacción del P, particularmente los productos intermedios metaestables, los cuales pueden estar lentamente disponibles a través del tiempo. La aplicación de los dos elementos por separado implica mayores costos de producción, respecto a la aplicación conjunta. Esto indica que la aplicación del S en los casos que sea necesario, puede hacerse en forma conjunta con el P, con los posibles beneficios de formación de fosfatos de calcio metaestables lentamente disponibles (Lindsay, 1979; Raun y Barreto, 1991).

Se realizó una comparación entre el tratamiento del agricultor (TAGR) y el tratamiento de 60 kg de P_2O_5 /ha usando como fuente el SFT más 20 kg de S, en los tres ciclos de cultivo. Se observó que en el primer año no hubo diferencias entre los dos tratamientos (promedio fue de 0.001 ± 0.581 t/ha) y el 55% de las respuestas positivas fue a favor del TAGR. En el segundo y tercer ciclo (Ciclos B y C) a pesar de que al TAGR se le aplicó en cada ciclo 227 kg de 15-30-8 y 227 urea/ha siendo el promedio de las diferencias fue de 0.225 ± 0.550 y 0.230 ± 0.559 t/ha, respectivamente. En comparación con el de 60 P + 20 S que sólo llevaba 100 kg de N/ha en cada ciclo residual (Figura 5).

Respuesta a la Aplicación de S como Yeso

La respuesta a la aplicación de S en general, es de pequeña magnitud pero consistente (Figura 6). En el primer ciclo, se encontró respuesta positiva en 8 de las 11 localidades. La respuesta a S en ausencia de P produjo un efecto positivo de 0.06 ± 0.43 t/ha. Cuando se evaluó en los mismos años la respuesta al S para los tratamientos con presencia de P (SFT aplicado a 30, 60 y 90 kg P_2O_5 /ha), el efecto de S fue de 0.094 ± 0.583 , 0.324 ± 0.232 y -0.117 ± 0.331 t/ha, indicando una posible interacción de P y S. En general, en los tres años se observaron respuestas positivas y consistentes, pero menores de 0.50 t/ha, a la aplicación de S.

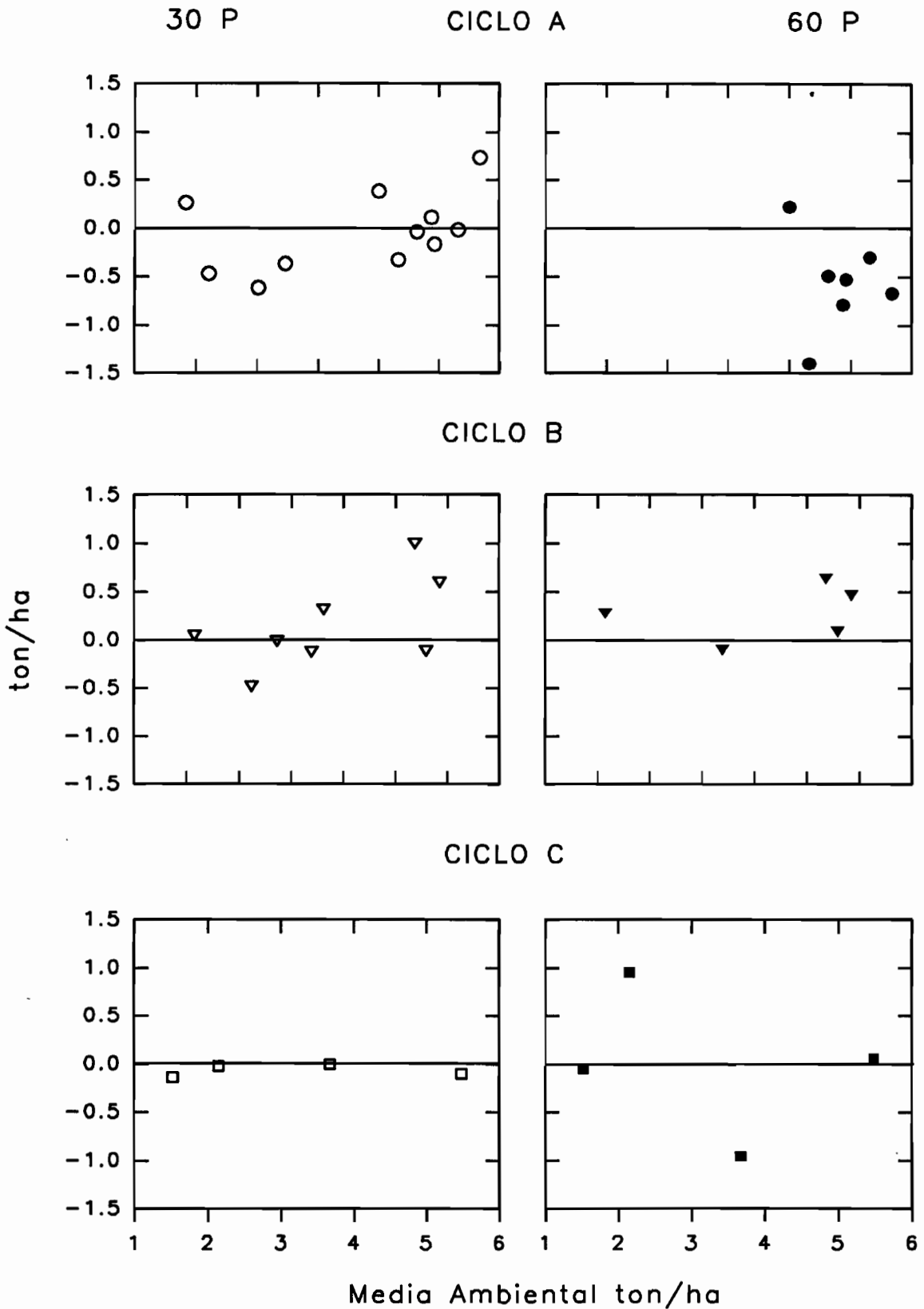


Figura 3. Diferencia entre la RF y el SFT en tres ciclos de cultivo bajo dos dosis de P (30 y 60 kg/ha, Azuero, 1989-1992).

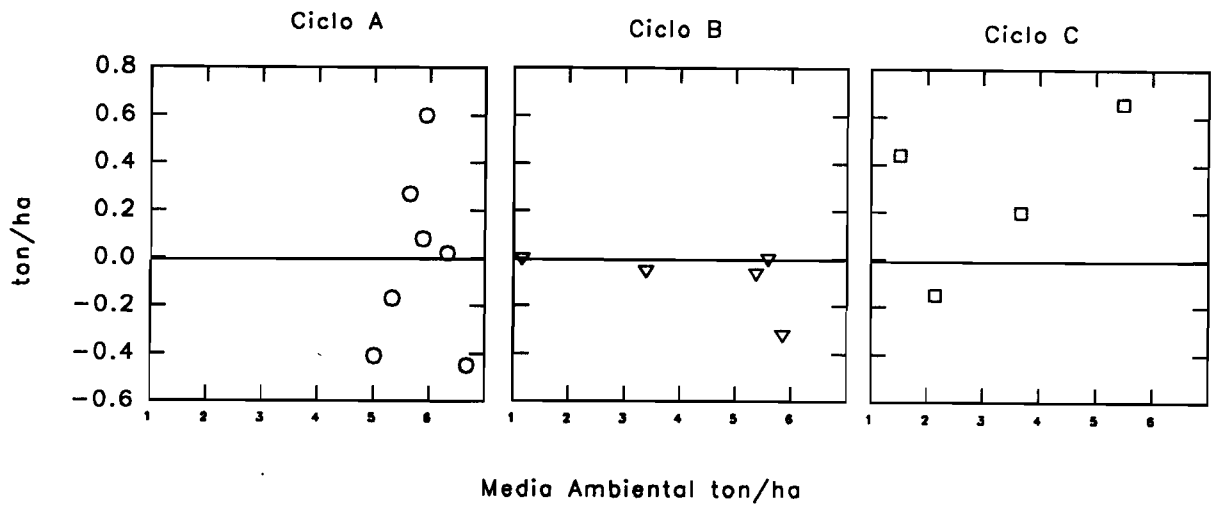


Figura 4. Diferencia entre la aplicación de P y S en forma conjunta (chuzo-chuzo) versus separada (chuzo-voleo) en tres ciclos de cultivo, Azuero, Panamá 1989-1992.

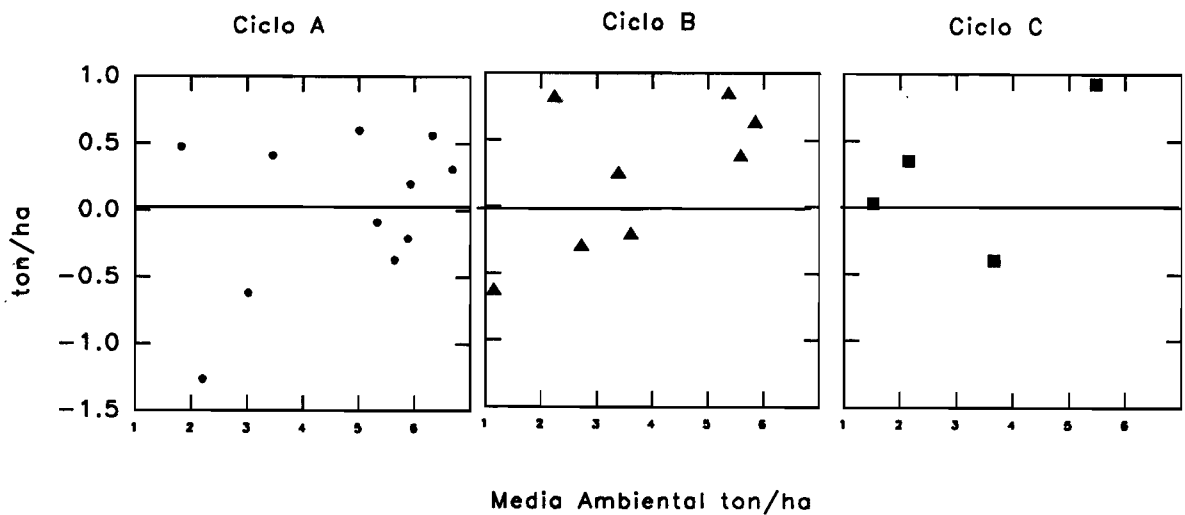


Figura 5. Diferencia entre el testigo del agricultor y el tratamiento de 60 kg de STF y 20 kg de S en tres ciclos de cultivo, Azuero, Panamá 1989-1992.

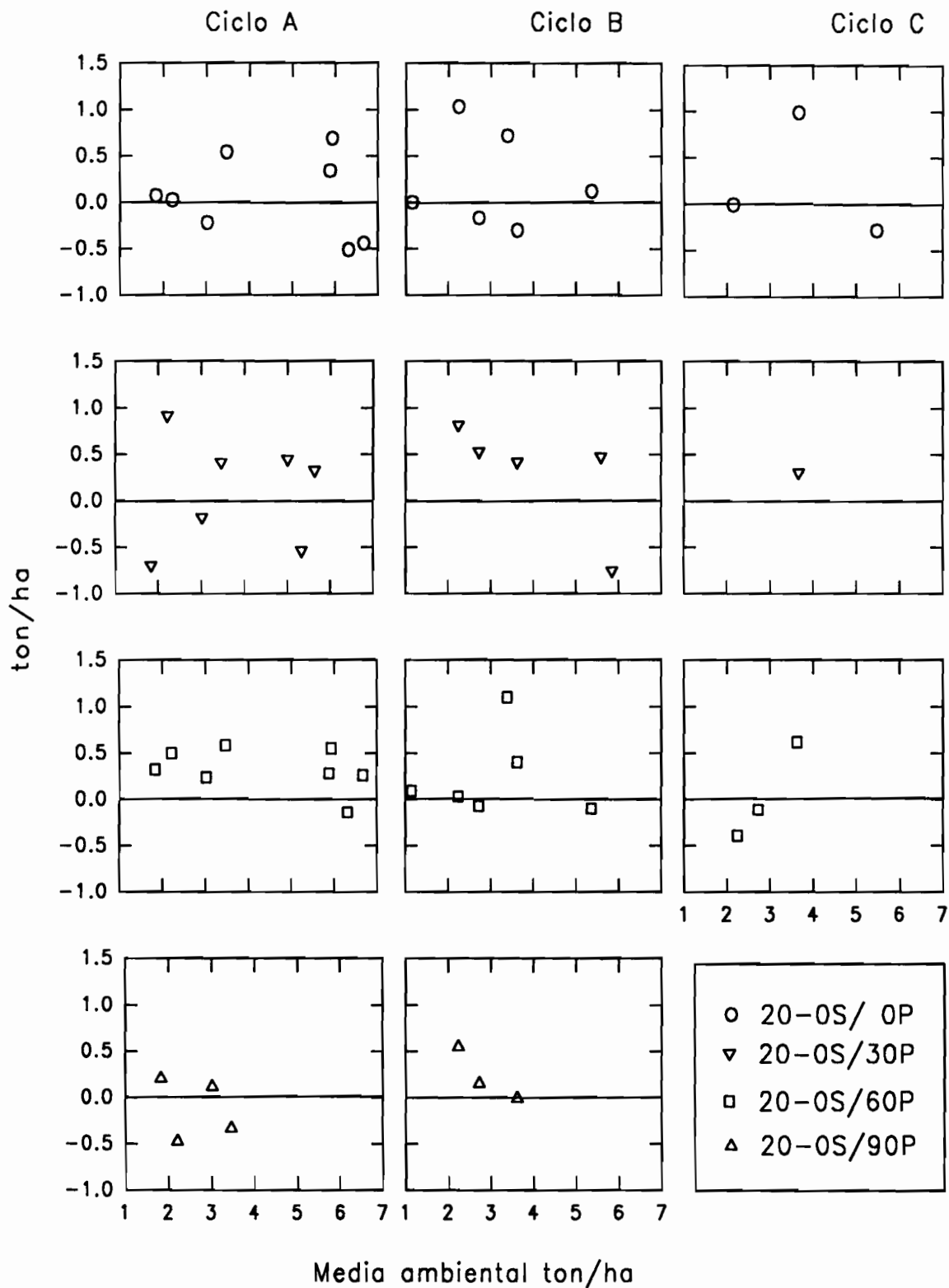


Figura 6. Respuesta del maíz a la aplicación de S bajo distintos niveles de P. Azuero 1989-1992.

En los experimentos de 1990 y 1991 se observó que la respuesta fue mayor en ambientes con mayor potencial de rendimiento. En el segundo ciclo de evaluación se observó el efecto positivo de aplicar el S, pero no así la interacción en presencia del P. Los promedios encontrados para la respuesta a S con 0, 30, 60 y 90 kg P₂O₅/ha fue de 0.235 ± 0.527, 0.291 ± 0.608, 0.242 ± 0.457 y ±0.288 t/ha, respectivamente. En el Ciclo C aún se encuentran respuestas positivas por aplicar S al cultivo, pero la misma no es muy clara.

Análisis Económico a través de los Ambientes

Para la estimación económica del efecto de dosis de P se concentró en SFT como fuente de P, dado que se tenía una mayor cantidad de datos a través de los tres ciclos. Utilizando el primer nivel de análisis se calculó la relación de precios relativos. Esta relación fue de 5.67 kg maíz por kg P₂O₅. Tomando este precio relativo, el incremento en rendimiento de maíz para las dosis de 30, 60 y 90 kg de P₂O₅/ha, en un primer ciclo, que recompensa el incremento de los costos que varían fue de 170, 340 y 510 kg de maíz/ha. El 82, 91 y 100% de los ensayos mostraron respuestas físicas o positivas en rendimiento a las aplicaciones de 30, 60 y 90 kg/ha respectivamente, mientras que la proporción de respuesta económicas fue de 64, 73 y 37% a las mismas dosis (Cuadro 6). La confiabilidad de respuesta normalizada indica que en promedio la aplicación de fósforo como SFT a dosis de 30-90 kg P₂O₅/ha tiene una probabilidad de 0.82 de superar en rendimiento al testigo sin fertilización. Sin embargo, cuando se incluyen los costos del fertilizante y su aplicación, la confiabilidad disminuye a menos 0.5 para la aplicación de 90 kg P₂O₅/ha (Cuadro 4). Esto sugiere que el SFT a dosis mayores a 60 kg P₂O₅/ha no resulta económicamente favorable dentro del rango de rendimiento observado en estos ensayos (1.15-6.68 t/ha, Cuadro 7). La alta probabilidad de obtención de respuestas físicas para las dosis de 30 y 60 kg P₂O₅/ha combinadas con una probabilidad de 0.68 de obtener una ganancia en rendimiento superior a los costos que varían, sugiere que dentro del rango de 30 y 60 kg/ha podría encontrarse el nivel óptimo para la fertilización con P en maíz, cuando se utiliza el SFT como fuente. En los ciclos residuales el porcentaje de respuestas físicas positivas coincide con las económicas, ya que, no se incurre en costos por aplicación de P.

La evaluación económica de la aplicación de P usando el SFT y el S, tanto de los ciclos individuales como de los tres ciclos en conjunto, incluyendo los efectos residuales, demostró que es rentable.

La tasa marginal de retorno de pasar de la no aplicación de P al de 30 kg/ha fue de 558%; en tanto que la aplicación de 60 kg/ha reportó el mayor beneficio neto (B/ 1,821/ha en los tres ciclos) y una alta TMR (1014%). La aplicación de 90 kg/ha es una alternativa económicamente dominada por las otras dos dosis, esto es aplicar menos dosis de P, implica mayores beneficios netos a menores costos. La comparación económica del uso de RF versus SFT como fuente de P, demostró que a la dosis de 30 kg/ha, la RF en un primer y segundo ciclo independiente, y en la evaluación conjunta de los tres años, fue superior al SFT. Sin embargo, a la dosis de 60 kg/ha el SFT superó en todos los ciclos a la RF. La práctica del agricultor fue superada por la aplicación de 60 kg SFT/ha en todos los ciclos individuales y en la evaluación conjunta.

Cuadro 4. Respuestas físicas y económicas a la aplicación de P en la región de Azuero, Panamá 1989-1991.

Localidad	Diferencia neta (t/ha) con testigo 0 P ₂ O ₅		
	30	60	90
1989			
Parita	2.02	0.65	---
La Tablas	2.63	1.00	---
La Honda	-0.66	-0.43	---
1990			
Parita	0.11	0.80	0.42
La Tablas	0.54	0.47	0.31
Las Comadres	0.54	0.29	0.19
La Honda	0.34	0.92	0.54
1991			
La Tablas	0.86	0.94	0.09
La Honda	-0.35	0.02	0.05
Pedernal	1.03	1.59	1.76
Parita	0.07	0.51	0.51
Promedio	0.64	0.61	0.48
Desviación Estándar	0.97	0.54	0.54
Rend mínimo p/cubrir los costos de fertilizante y su aplicación	0.17	0.34	0.51
Proporción de respuestas físicas	82% (9/11)	91% (10/11)	100% (8/8)
Proporción de respuestas económicas	64% (7/11)	73% (8/11)	37% (3/8)
Probabilidad de respuesta observada ¹	0.74	0.87	0.81
Probabilidad de la respuesta económica	0.68	0.69	0.48

¹ La probabilidad de respuesta se calculó utilizando la metodología descrita por Córdova *et al* (1993).

Cuadro 7. Rendimiento (t/ha) de los tratamientos en común de los ensayos en Azuero, Panamá, 1989-1992.

		Ciclo A											
Año P	S	N	1991 PCO91A	1991 PLH91A	1991 PPE91A	1991 PPA91A	1990 PPA90A	1990 PCO90A	1990 PTA90A	1990 PLH90A	1989 PPA89A	1989 PCO89A	1989 PLH89A
0	0	100	1.99	1.82	2.25	2.80	6.61	5.02	6.47	5.25	4.10	5.07	5.07
30	0	100	1.97	2.25	3.25	3.00					6.18	5.41	4.26
60	0	100	2.46	1.60	3.38	3.27	6.71	5.63	6.38	6.17			
90	0	100	2.58	1.74	3.67	4.17							
0	20	100	2.02	1.90	2.03	3.34	6.17	5.71	5.96	5.59			
30	20	100	2.88	1.55	3.07	3.41	6.29	6.26	6.50	5.93	5.64	5.73	4.70
60	20	100	2.96	1.92	3.62	3.85	6.97	6.18	6.24	6.45	6.24	6.07	4.83
90	20	100	2.11	1.95	3.79	3.85	6.59	6.02	6.50	6.19			
0	0	0	1.74	1.09	2.49	2.84							
60	0	200	1.66	1.89	3.21	3.75							
30RF	20	100	2.41	1.81	2.45	3.04	7.02	6.09	6.48	6.04	5.31	5.69	5.08
TAGR			1.70	2.40	3.00	4.27	7.28	6.38	6.80	6.24	6.15	5.70	5.43
60RF	20	100					6.30	5.65	6.21	5.66	4.83	5.58	5.05
30 CH	20V	100					6.74	5.66	6.48	5.85	5.81	5.46	5.11
60VOL	20VOL	100					6.85	6.16	6.15	6.18	6.44	5.78	5.60
60FOR	20CH	100					6.79	6.13	6.60	5.59	5.05	5.92	4.49
Prom Loc			2.21	1.83	3.02	3.46	6.68	5.93	6.32	5.88	5.33	5.64	5.01
		Ciclo B											
Año P	S	N	1992 PCO91B	1992 PLH91B	1992 PPE91B	1991 PCO90B	1991 PTA90B	1990 PLH90B	1990 PPA89B	1990 PLH89B			
0	0	100	3.62	1.78	2.62	2.77	5.46	1.25	5.18	5.23			
30	0	100	3.24	1.60	2.32				6.63	5.12			
60	0	100	3.53	2.36	2.62	2.44	5.07	1.04					
90	0	100	3.89	2.00	3.00								
0	20	100	3.32	2.81	2.45	3.49	5.58	1.25					
30	20	100	3.65	2.41	2.85	3.38	5.02	0.96	5.87	5.59			
60	20	100	3.94	2.39	2.55	3.54	4.97	1.13	5.56	6.05			
90	20	100	3.89	2.55	3.15	2.79	4.91	0.89					
0	0	0	3.43	1.97	3.24								
60	0	200	3.27	1.87	2.80								
30RF	20	100	3.97	1.94	2.85	3.27	6.03	1.02	6.48	5.49			
TAGR			3.73	3.21	2.26	3.79	5.82	0.5	6.19	6.43			
60RF	20	100				3.45	5.62	1.42	6.04	6.15			
30 CH	20V	100				3.43	5.08	0.96	6.19	5.59			
60VOL	20VOL	100				3.50	5.48	1.20	6.12	5.97			
60FOR	20CH	100				4.05	4.97	1.13	5.65	5.27			
Prom Loc			3.62	2.24	2.73	3.39	5.37	1.15	5.85	5.59			
		Ciclo C				Localidad		Código del Ensayo					
Año P	S	N	1992 PCO90C	1992 PTA90C	1991 PLH90C	1991 PLH89C							
0	0	100	2.15	5.60	2.07	0.98							
30	0	100				1.35	La Honda	PLH91	PLH90	PLH89A			
60	0	100	3.83	5.66	1.89			PLH91B	PLH90B	PLH90B			
90	0	100						PLH90	PLH89C				
0	20	100	3.15	5.32	2.06		Cocobola	PCO91	PCO90	PCO89A			
30	20	100	3.78	5.56	1.93	1.65		PCO91	PCO90B				
60	20	100	4.45	5.27	1.78	1.86			PCO90C				
90	20	100	3.43	6.15	2.00		Parita	PPA91A	PPA90A	PPA89A			
0	0	0								PPA89B			
60	0	200					Pedernal	PPE91A					
30RF	20	100	3.78	5.46	1.91	1.51		PPE91B					
TAGR			4.05	6.20	2.13	1.89	Tablas Abajo	PTA90A					
60RF	20	100	3.49	5.32	2.73	1.81		PTA90B					
30 CH	20V	100	3.58	4.90	2.08	1.21		PTA90C					
60VOL	20VOL	100	3.79	5.24	2.66	1.37							
60FOR	20CH	100	3.88	5.26	2.18	1.07							
Prom Loc			3.67	5.48	2.15	1.52							

Testigo del agricultor representa 227 kg/ha de 15-30-8 + 104 kg N/ha como urea.

CONCLUSIONES

1. Se encontró que el cultivo de maíz presenta una respuesta significativa tanto física como económica a la aplicación del P en los suelos de la región de Azuero.
2. Cuando la fuente de P fue SFT, la dosis óptima fue de 60 kg P₂O₅/ha, mientras que cuando la fuente fue RF, la dosis óptima fue de 30 kg P₂O₅/ha.
3. En el primer ciclo de siembra (Ciclo A) el SFT superó a la RF, pero al realizar el análisis en el ciclo residual la RF supera al SFT.
4. La ganancia de aplicar el P junto al yeso en una misma banda se observó en el tercer ciclo de evaluación.
5. Una alternativa del manejo del P en estos suelos podría ser la aplicación conjunta de las dos fuentes, dado el hecho que el SFT es más disponible en el primer ciclo y la RF en el segundo.
6. La respuesta del cultivo a la aplicación del S fue significativa.

REFERENCIAS

- CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. CIMMYT, México, 79p.
- Chu, C.R., W.W.Moschler y G.W.Thomas. 1962. Rock phosphate transformations in acid soils, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26:476-478.
- Córdova, H.S., H.J.Barreto y J.Crossa. 1993. Impacto del Desarrollo de híbridos de maíz en Centro América: Confiabilidad de las ganancias en rendimiento sobre el genotipo H5 y consideraciones para la selección de testigos regionales. En Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol 4 (1993), p. 3-10.
- Eskridge K.M y R.F. Mumm. 1992. Choosing cultivars based on the probability of outperforming a check Theoretical and Applied Genetics, 84:494-500.
- Gordón, R., A.González, N.De Gracia y W.Raun. 1989a. Evaluación de dosis y métodos de aplicación de S en el cultivo de maíz en tres localidades de Azuero. En: Trabajos presentados de los Proyectos Colaborativos en Agronomía, Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma en Maíz (*Zea mays* L). pag 219-225.
- Gordón, R., N. De Gracia, A.González y W.Raun. 1989b. Evaluación de fuentes y métodos de aplicación de P en el cultivo de maíz en tres localidades de Azuero. En: Trabajos presentados de los Proyectos Colaborativos en Agronomía, Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma en Maíz (*Zea mays* L). pag 206-213.
- Gordón, R., N. De Gracia, A.González, J.Franco y A. de Herrera. 1991. Evaluación de fuentes y métodos de aplicación de P y respuesta al S en el maíz, en cuatro localidades de la Región de Azuero, Panamá, 1990. Informe de Labores del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. En edición.
- Jauregui, M. A. y G. E. Sain. 1990. Continuous economic analysis of crop response to fertilizer in on-farm research. CIMMYT. Mexico, D.F. 125 p (manuscrito).
- Joos, L.L. y C.A.Black. 1950. The availability of rock phosphate as affected by particle size and contact with bentonite and soil of different pH values. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 15:69-75
- Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, New York.
- Miller, M.H.; C.P.Marmil and G.J.Blair. 1970 Ammonium effects on phosphorus absorption through pH changes and phosphorus precipitation at the soil root interface. Agron. J. 62:524-527.
- Name, B. y A. Cordero. 1987. Recomendación para la fertiización de suelos. Hojas Guías para el cultivo. En: Compendio de los Resultados de Investigación Presentados en la Jornada Científica. IDIAP Región Central. 22p.
- Raun, W.R. y H.J.Barreto. 1991. Maize yield response as affected by sulfur, phosphorus and nitrogen as banded applications on a volcanic ash derived tropical soil. Submitted a Communications in Soil Science and Plant Analysis.
- Savant, N.K. y G.J.Racz. 1973 Reaction products of applied pyrophosphates in some Manitoba soils. Can. J. Soil Sci. 53:111-117.
- Starostka, R.W., and W.L.Hill. 1955. Influence of soluble salts on the solubility of and plant response to dicalcium phosphate. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19:193-198.





**ANALISIS ECONOMICO DE LAS
ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS**

Estudio de Pre-aceptación del Híbrido de Maíz H-57 a Nivel Nacional entre los Cooperadores de Validación de 1991

Tito Montenegro y Eric Borbón¹

RESUMEN

El Programa Nacional de maíz del CENTA, en un esfuerzo conjunto con el CIMMYT, para resolver los problemas limitantes de producción de maíz han venido desarrollando y evaluando el material conocido como H-57. El material se evaluó durante los años 1989 y 1990, y a partir de este último año se iniciaron las cruzas. Entre sus principales características agronómicas está el alto potencial de rendimiento y su tolerancia al achaparramiento. El presente estudio pretende conocer la opinión sobre el H-57 que tienen los agricultores que colaboraron con el Programa de Maíz de El Salvador, en la etapa de validación. En términos generales se puede decir que el material tiene buena aceptación, tanto por sus características agronómicas, factores de consumo y comercialización. Según los datos a nivel experimental el H-57 logra rendimientos alrededor de 6.0 t/ha, sin embargo, debido a problemas de sequía en el período de estudio sólo se logró alcanzar los 4.2 t/ha. A pesar de esto, para la siembra de 1991, las estimaciones de rendimiento para el H-57 superaron en 1.8 t/ha el rendimiento obtenido por las variedades criollas. Los agricultores están de acuerdo en seguir sembrando la variedad, siempre y cuando se asegure la disponibilidad de semilla para las futuras siembras.

Desde 1979 el CENTA decidió incluir a los agricultores como participantes en la evaluación de las nuevas tecnologías, esto con la idea de que sean ellos mismos quienes dirijan en buena medida los esfuerzos del Programa, ya que al fin y al cabo son ellos mismos los principales usuarios de las nuevas tecnologías generadas. En El Salvador, el cultivo de maíz solo o en asocio alcanzó para el período 1991-1992 una superficie de 300 mil hectáreas, con una producción de 504 toneladas métricas.

El Programa Nacional de maíz del CENTA, en un esfuerzo conjunto con el CIMMYT, para resolver los problemas limitantes de producción de maíz ha venido desarrollando y evaluando el material conocido como H-57. El material se ha estado evaluando durante los años 1989 y 1990. A partir de este último año se iniciaron las cruzas. Entre sus principales características agronómicas está el alto potencial de

rendimiento y su tolerancia al achaparramiento. El Departamento de Economía Agrícola dentro del Plan de Investigación Agrícola del CENTA, planteó la necesidad de realizar un estudio de pre-aceptación del material H-57 entre aquellos productores que han colaborado en las parcelas de validación; en todo el territorio nacional en los años 1990 y 1991.

El presente estudio tiene como propósito, conocer la opinión sobre el H-57 que tienen los agricultores que colaboraron en las parcelas de validación en el año 1991. El presente trabajo persigue los siguientes objetivos: 1) Evaluar las razones expuestas para aceptar y/o rechazar el material H-57 entre los agricultores cooperadores que participaron en la validación (1991); 2) Conocer el efecto sobre la productividad del híbrido H-57 respecto a otras variedades alternativas y 3) Evaluar las opiniones de los agricultores sobre las ventajas y desventajas que presenta el H-57.

Antecedentes del Híbrido H-57

A partir de 1989 el Programa Nacional de Maíz inició las cruzas. En 1990 y hasta 1991 se montaron las primeras parcelas regionales. A su vez en el año 1991 se inició el proceso de validación y en 1992 se inició la siembra de parcelas demostrativas. El Programa Nacional de Maíz produjo el híbrido H-57 con materiales provenientes del CIMMYT como un esfuerzo en la búsqueda de generar nuevos materiales de maíz que superen los rendimientos actuales y a la vez posean características agronómicas deseables. En los Cuadros 1 y 2 se presentan algunas características de los principales materiales obtenidos por el Programa Nacional.

Este material genético fue originalmente derivado de la población 21. Se puede definir como un maíz tropical blanco dentado. Para su obtención fue sometido a diferentes metodologías de selección por especialistas en fisiología y fitomejoradores para incorporarle buenas características agronómicas. En el Cuadro 3 se resumen las principales características del H-57.

¹ Economista, Unidad de Socioeconomía del CENTA y Economista Agrícola, CIMMYT. Centro América y el Caribe, Costa Rica respectivamente.

Cuadro 1. Características agronómicas de las variedades de maíz generadas por el programa de Maíz. CENTA, El Salvador, 1991.

Características	H-5	H-53	H-56	H-57	H-104	CENTA-Pasaquina
Tipo de variedad	Híbrido doble	Híbr. doble	Híbr. Doble	Híbr. Doble	Híbr. Doble	Poliniz. Libre
Reacción sequía	-	-	-	-	-	Tolerante
Ciclo vegetativo	110 días	100 días	110 días	105 días	100 días	90-95 días
Días flor	56	54	57	55	55	45
Altura planta	259 cm.	235	268	254	217	186
Altura mazorca	146 cm.	137 cm.	154 cm.	148 cm.	119 cm.	89 cm.
Racción acame	Moderado susceptible	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Resistente
Aspecto tallo	Poco vigoroso	Vigoroso	Vigoroso	Vigoroso	Vigoroso	Vigoroso
# hileras /mazorca	14	14	14	14	14	14
Color y tipo de grano	Blanco semidentado	Blanco semi cristalino	Blanco semi dentado	Blanco semi cristalino	Amarillo cristalino	Blanco dentado
Reacción al achaparramiento	Tolerante	Resistente	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante
Rendimiento	4.5 t/ha	5.7 t/ha	5.7 t/ha	3.4 t/ha	5.8 t/ha	4.5 t/ha

Cuadro 2 Medias de rendimiento y otras características agronómicas de 11 genotipos de maíz evaluados en ensayos regionales en 3 localidades de El Salvador 1991.

Material	Rend. TM/Ha	Prueba Duncan	Días a flor	Altura (cm)		% acame		% mala cobertura mazorca	% Pudrición. mazorca	Plantas por ha
				Planta	Maz	Raíz	Tallo			
H-57	5.76	A	53	234	118	12.1	1.2	4.7	4.1	45486
C-385	5.48	AB	55	205	114	10.5	0.6	8.6	6.4	44823
H-53	5.37	AB	53	226	128	22.7	2.6	11.6	5.4	45643
H-104	5.32	BC	54	230	122	17.1	0.3	17.6	5.5	45107
H-54	5.22	BCD	53	225	120	26.8	0.8	4.8	3.8	46464
H-57	5.15	BCD	55	237	134	31.8	1.3	8.7	6.4	44917
H-55G	5.14	BCD	54	237	125	10.5	0.7	4.4	3.7	45138
B-833	4.97	CD	56	256	141	34.1	1.2	5.9	5.9	45075
H-56	4.93	D	56	256	151	33.1	3.2	7.1	7.1	43907
C-381	4.88	D	53	217	115	13.6	0.4	8.0	6.3	44539
H-5	4.25	E	57	246	142	29.3	1.3	0.7	4.4	42960

Cuadro 3. Principales características del híbrido de maíz H-57.

Tipo de variedad	Híbrido doble
Reacción a la sequía	-----
Ciclo vegetativo	105 días
Días a floración	55 días
Altura de planta	254 cm.
Altura de la mazorca	148 cm.
Reacción al acame	Tolerante
Aspecto del tallo	Vigoroso
Número de hileras/maz	14
Color y tipo de grano	Blanco, dentado
Reacción al achaparram.	Tolerante
Rendimiento	6170 t/ha.

METODOLOGIA

Obtención de la Información

Para realizar el presente estudio se hizo uso de diferentes fuentes de información, tanto de información secundaria como primaria. Como fuentes de información secundaria se revisaron diferentes documentos del material H-57; generados por investigadores y validadores que venían trabajando con el material, para poder documentar las principales características del mismo. A su vez se trató de identificar el proceso de origen del material, y los involucrados en el proceso de validación en el año 1991. Para la obtención de la información primaria se

procedió a diseñar y ejecutar una boleta formal. La boleta fue dirigida a 31 productores cooperadores distribuidos en 20 cantones a través de toda la República de El Salvador. Una vez obtenida la información se procedió a la tabulación y análisis estadístico de los datos.

Ubicación del Estudio

En el Cuadro 4 se detallan los municipios y caseríos donde fueron instaladas las parcelas de validación del material H-57 en 1991, así como el número de agricultores cooperadores que participaron en la evaluación.

Cuadro 4. Localización de las parcelas de validación del material h-57 (1991).

Depto.	# de cooperadores
Ahuachapán	8
Santa Ana	2
Sonsonate	4
La libertad	8
San Vicente	7
Cabañas	2

RESULTADOS Y DISCUSION

Identificación de la Variedad

En el 93.5% de los casos, los agricultores entrevistados dijeron conocer el material con el nombre de maíz H-57, dado que al momento en que se les distribuyó ese fue el nombre que se les dió. El 6.4% no recordaron el nombre del material.

Modalidad de Siembra de las Parcelas

Si se calcula en base a la densidad de siembra y la cantidad de semilla utilizada en las parcelas, ésta resulta en 25 kg/ha. La cantidad total de semilla distribuida entre los 31 agricultores para el total de las parcelas fue de 47.3 kg. Para la mayoría de los agricultores el mes de mayo es el preferido para las siembras, ya que en este mes se inician las lluvias. En el caso de los agricultores cooperadores, el 32.3% prefiere realizar sus siembras en el mes de mayo, el mismo porcentaje dice sembrar con el inicio de las lluvias, las cuales generalmente coinciden con el mes

de mayo. El 19.4% realiza sus siembras entre el final de mayo y principios de junio y solo el 16% siembra con las lluvias ya establecidas. El 67.7% de los agricultores cooperadores realizaron sus siembras del maíz H-57 en asocio con sorgo, el cual parece ser el sistema predominante. Un 25.8% prefirió realizar su siembra en relevo con maíz, y solo el 6.5% afirmó realizar su siembra en monocultivo (Cuadro 5).

Rendimientos Obtenidos en las Parcelas

Los rendimientos obtenidos por parte de los agricultores cooperadores en las parcelas de validación para la siembra de 1991 alcanzaron en promedio los 4.2 t/ha superior en 2.6 t/ha al rendimiento obtenido por los materiales criollos. Sin embargo esta diferencia estaría condicionada por las condiciones de sequía que imperaron en el período; las que no permitieron que el H-57 pudiera expresar su potencial de rendimiento al máximo.

Ventajas y Desventajas del H-57

En el Cuadro 6 se presentan las ventajas del híbrido H-57, en concepto de los agricultores que cooperaron en las parcelas de validación. Como se observa en el Cuadro las ventajas encontradas al híbrido H-57 fueron muchas y de diferente índole. Para el caso del grano propiamente dicho, grano "fino", "buen peso" y "germinación" fueron las características predominantes. En el caso de la mazorca, "buen tamaño", y "buen peso" fueron las características más resaltadas por los agricultores, mientras que en lo referente a la planta el "grosor de la caña", y una "buena altura" sobresalieron entre las características resaltadas. Aproximadamente la mitad de los agricultores consideraron que el H-57 era resistente al acame. A pesar de que la resistencia a plagas no es una característica que lograra porcentajes altos en la evaluación por parte de los agricultores cooperadores, ninguno de ellos definió en concreto el ataque de alguna plaga específica que hubiera mermado en buena medida el rendimiento del material.

De los 31 cooperadores que participaron en la validación del híbrido H-57, se puede decir que el 100% considera el material H-57 como duro al momento de desgranar manualmente. Sin embargo, 48.4% manifestó que el problema se eliminaba si el desgrane se hacía en forma mecánica. Al parecer esta fue la única desventaja generalizada encontrada al material.

Cuadro 5. Información general de las parcelas de H-57, El Salvador.

Municipio	# Agric.	Area H-57 <i>m</i> ²	Cant. semilla <i>kg</i>	Area total maíz <i>ha</i>	Epoca de siembra	Sistema de siembra	Cultivo asociado
Ahuachapán	3	1910.5	4.55	2.86	Mayo	Asocio	Sorgo
Atiquizaya	1	945	2.73	1.40	May/Jun.	Monoc.	Maíz
San Lorenzo	1	1000	3.18	1.75	Mayo	Asocio	Frijol
Tacuba	3	2000	3.18	3.50	Mayo	Asocio	Sorgo
Chalchuapa	1	465.5	0.91	1.05	Lluv-Esta.	Asocio	Sorgo
El Porvenir	1	455	0.91	1.40	Lluv- Esta	Asocio	Sorgo
Ishuatan	1	450	0.91	0.70	Mayo	Relevo	Sorgo
Sn.Ant.Monte	2	14.40	3.64	4.20	1a. Lluv	Asocio	Sorgo
San Julián	1	3600	6.82	0.70	Mayo/Jn.	Relevo	Frijol
San José V.	4	910	1.82	2.45	1a. Lluv.	Asocio	Sorgo
Tamanique	4	915	3.64	3.50	1a. Lluv.	Asocio	Sorgo
San Vicente	3	2720	5.91	3.50	Lluv-Esta.	Relevo	Frijol
Tecoluca	3	2710	5.45	4.20	Mayo/Jun	Relevo	Frijol
Sto. Domingo	1	900	1.82	1.40	Mayo/Jun	Relevo	Frijol
Guacotecti	1	450	0.91	1.40	Mayo	Asocio	Sorgo
Sensuntepeque	1	460	0.91	1.40	Mayo	Asocio	Sorgo

Cuadro 6. Ventajas del H-57 en concepto de los agricultores, San Salvador.

	Respuestas	%
SEMILLA		
Grano fino	20	64.52
Mejor germinación	10	32.26
Mayor rendimiento	14	45.16
Buen peso del grano	15	48.39
MAZORCA		
Buen tamaño	9	29.03
Buen peso	9	29.03
Buenas carreras	6	19.35
Jilotea más rápido	3	9.68
PLANTA		
Buen grosor de caña	24	77.42
Resistencia a sequía	1	3.23
Buena altura de planta	19	61.29
Resistente al acame	15	48.39
Resistente a plagas	2	6.45
FOLLAJE		
Buen follaje	14	45.16

El 25% manifestó que el material se pica rápido y el 6.5% mencionó que no cubre bien la mazorca. Como dato curioso la resistencia o susceptibilidad a enfermedades no fue mencionado por ninguno de los agricultores cooperadores.

Destino de la Producción

En la mayoría de los casos la producción obtenida de las parcelas fue destinada al autoconsumo, debido a que la producción obtenida fue poca. A pesar de esto algunos agricultores vendieron parte de la producción; quienes afirmaron no tener problemas a la hora de la venta, logrando los mismos precios que las otras variedades que se vendían en el mercado. Un 64.5% de los agricultores cooperadores almacenó parte del grano como semilla para futuras siembras. La semilla guardada la escogieron de las plantas que presentaban mayor vigor. Así mismo los agricultores hicieron escogencias de las mazorcas más robustas. El resto de los agricultores que no guardaron semilla dijeron que la producción fue muy poca, por lo que decidieron dedicarla toda al consumo.

Consumo

El 100% de los productores cooperadores consumió parte de la producción del híbrido H-57. El consumo del grano lo hicieron en forma seca (tortillas), manifestando que el sabor, suavidad y color era igual a las otras variedades. Ninguno consumió el híbrido en forma tierna (mazorca), atol, tamal de elote u otra forma en que el maíz deba estar tierno.

Nivel de Aceptación de la Variedad

El 64.5% de los cooperadores han seguido sembrando el maíz H-57, por lo que se podría decir que hay una buena aceptación de este material entre todos los agricultores del área que participaron en la validación. El 35.5% restante no la va a seguir sembrando porque se le picó el grano que guardaron para seguir sembrando (9.6%), no encuentran semilla para continuar sembrando (6.5%), o porque es duro para desgranar (12.4%).

Nivel de Difusión

En este momento no se puede hablar de un verdadero proceso de difusión del híbrido H-57, ya que como se ha expuesto en el presente estudio apenas se encuentra en la etapa de validación, en áreas relativamente pequeñas y con pocas cantidades de semilla. A pesar de esto el H-57 se ha difundido en algunos cantones de El Salvador donde los agricultores que participaron en la validación, regalaron semilla entre sus amigos y vecinos cercanos a sus áreas de siembra. Los cooperadores que regalaron semilla fueron 12 de los 31 cooperadores y la cantidad de semilla que regalaron fue de 55 kg.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La variedad es conocida por un 93.5% de los agricultores cooperadores como Maíz H-57. No

tiene problema para la venta. Respecto a su consumo en tortilla, el H-57 presenta el mismo sabor que las otras variedades. La disponibilidad de semilla de H-57 entre los agricultores cooperadores es muy poca. En cuanto a las características agronómicas las ventajas encontradas por los agricultores fueron muy variadas, siendo el grosor de la caña, la altura de la planta, el buen peso y fineza del grano las ventajas que lograron los mayores porcentajes. La única desventaja encontrada fue la dureza que presenta el material a la hora del desgrane que hace que esta labor se dificulte en especial cuando se hace en forma manual.

Para acelerar el proceso de difusión del H-57 se recomienda lo siguiente: i) Asegurar la disponibilidad de semilla para la venta; ii) Que las parcelas de validación lleven registros para un mejor control de los costos de producción; iii) Aumentar el área de las parcelas de validación; iv) Realizar estudios de difusión del híbrido H-57 a nivel nacional; v) Hacerle una mayor publicidad al material.

REFERENCIAS

- Síntesis de resultados experimentales. 1991. Volumen 3. Julio 1992. PRM. pag.11
- Alvarado, M.E., Walker T. 1992. Estudio de adopción del híbrido H-8 y las variedades M 1b y CENTA.

Rentabilidad del Sistema de Abonera en el Litoral Atlántico de Honduras

G. Saín, I. Ponce y E. Borbón¹

RESUMEN

En el Litoral Atlántico de Honduras se ha difundido un sistema de rotación de maíz con *mucuna* sp. conocido por los agricultores con el nombre de abonera. Debido a que poco se conoce sobre los factores que influyen en el proceso de adopción de esta práctica se planteó el presente estudio con el propósito de identificar estos factores, así como determinar la rentabilidad del sistema tanto en el corto como en el largo plazo y a la vez establecer los factores y mecanismos que afectan esta rentabilidad. El estudio se llevó a cabo en el departamento de Atlántida y comprende parte del municipio de La Ceiba y los municipios de Jutiapa, San Francisco y Tela. Para evaluar la rentabilidad se empleó como herramienta una expansión del análisis de presupuesto parcial y análisis incremental para un período para tener en cuenta los efectos a través del tiempo. Para el análisis se tomó seis años como la vida media de la abonera. Al evaluar económicamente el sistema se encontró que el sistema de abonera resulta más rentable que el tradicional a partir del 2do. año en adelante. Si el criterio de rentabilidad es el retorno a la mano de obra familiar, el sistema de abonera también resulta más rentable a partir del segundo año y así permanece por todo el período.

En el Litoral Atlántico de Honduras la producción agrícola ocurre en dos épocas bien definidas: la primera, también llamada de primavera y la postrera o de verano. En gran medida la capacidad para producir en cada época está determinada por el régimen estacional de lluvias predominantes. En el Litoral Atlántico, el régimen de lluvias es tal que permite la siembra y cultivo de ambas estaciones con diferentes grados de éxito (Figura 1). Las lluvias inician su ciclo ascendente en el mes de mayo y continúan en ascenso hasta llegar a noviembre que es el mes más lluvioso del año. A partir de allí comienzan su fase descendente hasta llegar al mes de abril. Los ciclos productivos de primera y postrera se acomodan a este régimen. La siembra de primera del maíz comienza generalmente en junio-julio para ser cosechado en setiembre-octubre, mientras que la siembra de postrera se realiza en diciembre-enero para ser cosechado en abril-mayo.

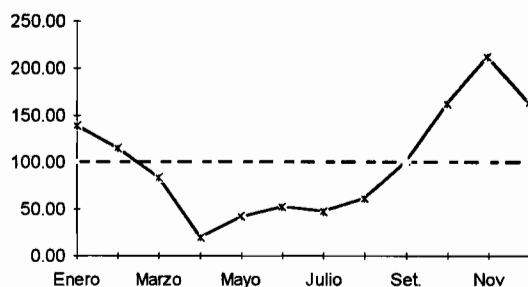


Figura 1. Patrón estacional de las lluvias (mm/mes) en el Litoral Atlántico de Honduras (1972-1990).

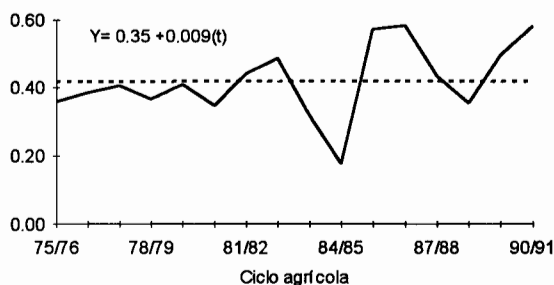


Figura 2. Evolución y tendencia de la importancia relativa de la superficie cultivada con maíz en postrera en el Litoral Atlántico de Honduras, 75/76-90/91.

La estación de primera o primavera fue tradicionalmente la más importante en lo que a producción de maíz en el Litoral Atlántico se refiere. A inicios de la década de los 80 el 65% de la producción total de la región se producía en primera; sin embargo, la situación se ha revertido ya que la participación relativa de la postrera en la producción ha crecido en los últimos 15 años a razón de casi 1% anual hasta alcanzar más del 50% de la producción total en las últimas tres campañas (Figura 2).

Aunque ambas épocas tienen a juicio de los agricultores, ventajas y desventajas para la producción

¹G. Saín y E. Borbón son economistas del Programa Regional para Centro América y el Caribe del CIMMYT, I. Ponce es economista de la Secretaría de Recursos Naturales de Honduras.

de maíz, la siembra de postrera presenta dos ventajas bien definidas. En primer lugar la cosecha de postrera ocurre en los meses más secos del año (abril-mayo) por lo cual el maíz tiene una mejor sanidad que en primera donde se cosecha con mucha lluvia y existe el problema de pudrición de mazorca. Una segunda ventaja de la siembra de postrera es que permite aprovechar el marcado ciclo estacional que se observan en los precios de venta del maíz y la cosecha ocurre cuando los precios están por arriba del promedio anual.

El aumento de la importancia relativa de la producción de postrera se debe principalmente al incremento del área cultivada el cual está asociado a la difusión de la siembra de maíz con frijol de abono (*Mucuna aterrima sp.*) en el sistema llamado "abonera". El uso del frijol de abono muestra un significativo incremento en el área de la década de los 80 y su difusión ha sido recientemente sujeto de estudio de varios trabajos (Avila y López, 1990; Buckles *et al.*, 1991, 1992). Mientras que en 1980 menos del 5% de los agricultores utilizaban el sistema, en 1989, este porcentaje superaba el 60%. La curva de difusión del sistema de abonera en el Dpto. de Atlántida mostró que entre 1981 y 1990 la difusión fue casi lineal a una tasa de crecimiento anual de casi 7% (Buckles *et al.*, 1992).

Varias ventajas han sido asociadas al sistema de abonera por los agricultores (Flores y Licon, 1985; Avila y López, 1990; Buckles *et al.*, 1992). Entre ellas se pueden mencionar: 1) El ahorro de mano de obra en la preparación del terreno para la siembra. 2) Un ahorro de mano de obra en el control de malezas, ya que el frijol de abono disminuía la incidencia de éstas; y 3) Un ahorro en capital de trabajo en términos de fertilizantes, ya que el maíz en abonera no necesitaba la aplicación de fertilizantes inorgánicos para obtener el mismo rendimiento que con la aplicación de este tipo de fertilizantes. Este efecto también puede ser visto como un incremento en los beneficios brutos por aumento en los rendimientos respecto al maíz cultivado sin abonera y sin fertilización inorgánica.

De acuerdo entonces a la percepción de los agricultores el efecto neto del sistema de abonera es de una reducción en los costos de operación, al menos cuando la abonera ya está implantada. Esta reducción se realiza esencialmente por un ahorro de mano de obra necesaria para la preparación del terreno (chapia) y control de malezas.

Adicionalmente el uso del frijol de abono a nivel del sistema de finca permite el incremento del área en la siembra de postrera lo que permite al agricultor aprovechar las ventajas ya mencionadas de cosechar maíz en una época donde las precipitaciones son mínimas y los precios de maíz son estacionalmente altos.

No cabe duda que la rentabilidad de corto y largo plazo del sistema en relación con el uso alternativo del suelo juega un papel importante en la decisión de adoptar una práctica de conservación del suelo. En este trabajo se estima la rentabilidad del sistema de abonera en relación con el sistema tradicional, tanto en el corto como en el largo plazo; y se analizan los factores y mecanismos que afectan esta rentabilidad, en especial el impacto que la adopción del sistema de abonera tiene sobre el uso de mano de obra.

El trabajo se localiza en los municipios de La Ceiba, Jutiapa, San Francisco y Tela pertenecientes al Departamento de Atlántida. El Departamento de Atlántida es uno de los tres Departamentos que forman la región denominada el Litoral Atlántico de Honduras.

EI SISTEMA DE PRODUCCION DE MAIZ: TAMAÑO DE FINCA, USO DE LA TIERRA Y EL SISTEMA DE ABONERA

En el Litoral Atlántico predominan fincas de tamaño pequeño siendo la mayoría de los agricultores dueños de la finca. El 74 % de la población de agricultores productores de maíz en el Litoral Atlántico de Honduras poseen alguna de las parcelas que trabajan en propiedad pudiendo en caso de necesitar alquilar tierras a terceros para su explotación. Los agricultores que poseen tierras, tienen un tamaño de finca promedio de 11.0 has., mientras que aquellos que no poseen tierra, el tamaño promedio de la finca es de 2 has.

Aproximadamente el 30% de la superficie de una finca típica o modal de aquellos agricultores que son dueños de sus tierras, se destina a los cultivos mientras que el restante 70% se destina a pastos y a descanso (guamil). El cultivo más importante tanto en primavera como en postrera es el maíz, pero también se cultiva arroz, y frijol en diferentes épocas del año. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Uso de la tierra de acuerdo al sistema. agricultores con tierra, Litoral Atlántico de Honduras.

Cultivo	Agricultores con abonera				Agricultores sin abonera			
	Postrera		Primavera		Postrera		Primavera	
	Area ha	%	Area ha	%	Area ha	%	Area ha	%
Frijol de Mayo			0.7	6			0.4	4
Frijol de Octubre			0.7	6			0.6	6
Frijol de Febrero	0.3	3			0.2	2		
Maíz	2.0	17	1.7	14	1.3	14	1.3	14
Arroz	0.8	7			0.8	8		
Pastos	4.3	36	4.3	36	4.2	44	4.2	44
Guanil	4.6	38	4.6	38	3.0	32	3.0	32
Total	12.0		12.0		9.5		9.5	

Además de las actividades realizadas en tierra propia los agricultores pueden alquilar tierra a terceros para realizar alguna actividad. Esta modalidad se da principalmente con el maíz de postrera donde la mitad de los agricultores alquilan una manzana adicional para su siembra. Este comportamiento podría explicar, al menos parcialmente, el incremento de las siembras de postrera y la difusión de aboneras ya que podría pensarse que los agricultores implantan la abonera en parcelas propias y siembran una o más parcelas adicionales bajo el sistema tradicional en tierras prestadas o alquiladas. Otros cultivos como yuca, plátanos, etc. usualmente son sembrados en el solar y destinados al autoconsumo. Casi la totalidad de los agricultores mantienen gallinas y la mayoría bestias de carga destinadas a transportar la producción de las parcelas hacia la casa o hacia el lugar de venta.

La siembra de maíz en abonera es un sistema de rotación del maíz de postrera con el frijol de abono. Para implantar una abonera se siembra el frijol de abono en forma intercalada alrededor de los 40 a 50 días después de la siembra del maíz de postrera. Este se cosecha entre marzo y abril dejando el frijol de abono que se desarrolle hasta fines de noviembre cuando produce semilla. En ese momento el agricultor comienza la preparación de la siembra del maíz chapeando la mucuna y sembrando el maíz a chuzo unas semanas más tarde. Este ciclo se repite por varios años. La Figura 3 muestra la distribución de frecuencia de la edad de las aboneras en el Litoral Atlántico como también los parámetros de esa distribución. Tal como era de esperar, la distribución de esta variable se concentra a la izquierda de la edad promedio de 6 años, lo que indica que la mayoría de las aboneras son jóvenes respecto al promedio, reflejando la tendencia expansiva del fenómeno.

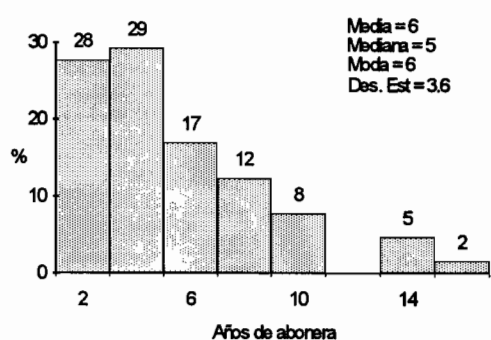


Figura 3. Distribución de la edad de las aboneras en el Litoral Atlántico de Honduras. 1991

El 71% de los agricultores propietarios siembran maíz en postrera bajo el sistema de aboneras mientras que sólo 29% de ellos los hacen bajo el sistema tradicional. Tal como es de esperarse en caso de tecnologías de conservación, el 87% de aquellos que siembran en abonera lo hacen en terrenos propios.

Si la disponibilidad de tierra fuera un factor limitante, el sistema de abonera y el tradicional deben verse como mutuamente excluyentes. Es decir, el agricultor puede usar la parcela bajo el sistema tradicional por tres ciclos (un año y medio) y luego dejarla en descanso por 4 años y medio o alternativamente implantar un sistema de abonera por ese mismo período.

Sin embargo la evidencia encontrada en el Litoral Atlántico, indica que éste no es el caso. Por un lado existe alrededor de un 35% del total de la tierra en el sistema de finca típico del agricultor que se encuentra en descanso. Además la expansión del sistema de abonera se ha realizado en gran medida mediante la expansión del área sembrada y no mediante

sustitución del área sembrada. El número de parcelas de maíz sembradas en postrera fue significativamente superior en el grupo de agricultores propietarios que sembraron al menos una parcela en abonera que en aquellos que se mantuvieron sin sembrar maíz en abonera, Cuadro 2. También se encontró que la superficie sembrada con maíz en postrera aumentó significativamente en el grupo de agricultores que tenían abonera, respecto a aquellos que no habían adoptado el sistema, Cuadro 3. Tal como era de esperar no se encontró evidencia concluyente que indicara que la presencia o no de la abonera afectara en forma significativa el número de parcelas ni la superficie sembrada con maíz en primavera.

Es decir que a nivel de finca, la incorporación del sistema de abonera en el sistema ha permitido aumentar el área cultivada con maíz en postrera mediante la incorporación de una parcela adicional. El Cuadro 4 muestra en forma esquemática como afecta el uso de la tierra la incorporación de la abonera. Al cabo del ciclo de 6 años, en el sistema tradicional se ha cultivado 12 unidades (manzanas, has.,etc) de maíz utilizando cuatro parcelas, en el sistema de abonera en ese mismo periodo se cultivan 18 unidades (un aumento del 50%) utilizando sólo 5 parcelas (un aumento del 25%). La incorporación de la abonera permite 6 cosechas de maíz adicionales usando sólo una parcela más. Nótese que en el caso del sistema de abonera existirán dos parcelas de maíz

de postrera y sólo una de primavera, tal como lo confirman los datos encontrados en la encuesta (Cuadro 2).

Cuadro 2. Número de parcelas de maíz sembradas en postrera y primavera de acuerdo al sistema. Agricultores con tierra. Litoral Atlántico de Honduras.

	Postrera		Primera	
	Con abonera	Sin abonera	Con abonera	Sin abonera
Media	1.8	1.3	1.3	1.3
Moda	2	1	1	1
DesvEstand	0.9	0.7	0.6	0.8
Probabilidad	0.008		0.45	

*Prob (T<=t) una cola. Ho: No con abon.>= No sin abon.

Cuadro 3. Superficie sembrada con maíz en postrera y primavera de acuerdo al sistema. Agricultores con tierra. Litoral Atlántico de Honduras.

	Postrera		Primera	
	Con abonera	Sin abonera	Con abonera	Sin abonera
Media	2.6	1.7	2.1	1.6
Moda	2	1	2	1
Desviación Estandard	2.7	1.2	2.1	1.3
Probabilidad	0.03		0.13	

Prob(T<=t)unacola. Ho: No con abon.>= No sin abon.

Cuadro 4. El uso de la tierra bajo los dos sistemas de cultivo.

		Sistema								
		Tradicional				Abonera				
		Número de parcela:				Número de parcela:				
Año	Epoca	1	2	3	4	1	2	3	4	5
1	Primera	M				M				
	Postrera	M				M				M
2	Primera	M				M				A
	Postrera		M				M			M
3	Primera		M				M			A
	Postrera		M				M			M
4	Primera			M				M		A
	Postrera			M				M		M
5	Primera			M				M		A
	Postrera				M				M	M
6	Primera				M				M	A
	Postrera				M				M	M

LA RENTABILIDAD DE LA ABONERA

El análisis económico del sistema de abonera parte del manejo que el agricultor realiza del sistema tal como se ilustra en el Cuadro 4, en donde se incorpora una parcela adicional para sembrarla bajo el sistema de abonera. En este caso se considera que el uso alternativo de esta parcela adicional sería intervenir como una parcela más en una rotación tradicional, por ejemplo como parcela 1 en el Cuadro 4. Bajo esta circunstancia, el uso de la parcela en el sistema tradicional genera un flujo de costos y beneficios durante los tres primeros ciclos debido al cultivo del maíz y un monto final al término del período debido a la producción de leña. La parcela en abonera, en cambio genera un flujo de beneficios constante a lo largo de los seis años. Al finalizar el ciclo el agricultor quema la abonera y el ciclo se repite.

Costos que varían de los sistemas

Los presupuestos se confeccionan para la tecnología dominante en 1991 de acuerdo con los datos arrojados por la encuesta realizada por la SRN y CIMMYT en 1992 (Buckles *et al.*, 1992). Los coeficientes técnicos y los precios de insumos, mano de obra y servicios utilizados fueron también los predominantes en ese año a nivel de agricultor y se obtuvieron mediante una encuesta informal especialmente diseñada y ejecutada para ese propósito por la SRN y CIMMYT en 1992.

Para el cálculo de los costos que varían entre ambos sistemas se reconocen dos periodos: Un primer año de implantación y cinco años subsecuentes de producción para completar los seis años del ciclo medio de la abonera. El Cuadro 5 muestra los costos que varían el año de implantación de la abonera mientras que el Cuadro 6 presenta los costos en un año de producción. A partir del segundo año el ciclo de costos del sistema de abonera se repite cada año a lo largo de la vida útil promedio de la abonera. A continuación se describen los principales rubros que componen el flujo de costos tanto para el año de implantación como para aquellos de producción.

Preparación del terreno

En el año de implantación, la estimación de los costos de preparación del terreno considera que el agricultor chapea un guamil de 5 o más años edad para la siembra de primavera (ciclo tradicional) o en la postrera para la implantación de la abonera. La mayoría de los agricultores (60%) comienzan las

aboneras en parcelas que han permanecido en descanso por un período de aproximadamente 6 años. Posteriormente, durante el período de producción, la preparación del terreno se facilita en el sistema de abonera ya que la chapea del frijol de abono requiere un número significativamente menor de jornales que el sistema tradicional.

Siembra

En lo que a la siembra de maíz se refiere, las diferencias de costos entre ambos sistemas se atribuyen a la diferencia en los costos de oportunidad de la semilla de maíz debido a la estacionalidad de los precios de este producto. En el caso del frijol de abono, sólo se considera el costo de semilla y siembra del frijol en el año de implantación ya que una vez establecida la abonera la mayor parte de los agricultores dejan que el frijol de abono se resiembre solo; por lo que no se consideran costos de siembra en los años de producción.

Cuadro 5. Costos de producción de maíz en una parcela el año de implantación de la abonera.

	Parcela maíz L/ha	
	En abonera	Tradicional
Maíz de primavera		
Preparación terreno		
Chapia y quema		87.6
Siembra		
Semilla ¹		7.5
Mano de obra siembra		21.9
Control de malezas		
Primer control manual		54.8
Gramoxone		19.9
Aplicación gramoxone		8.8
Subtotal maíz primavera		200.5
Maíz de postrera		
Preparación terreno		
Chapia.	87.6	52.7
Siembra de maíz		
Semilla ¹	4.6	4.6
Mano de obra siembra	21.9	21.9
Control de malezas		
Primer control manual	48.2	48.2
Gramoxone	19.9	19.9
Aplicación gramoxone	8.8	8.8
Siembra frijol de abono		
Semilla ¹	9.9	
Mano de obrs siembra	21.9	
Subtotal maíz de postrera	222.8	156.1
TOTAL AÑO	222.8	356.6
IMPLANTACION		

1. El precio de la semilla de maíz se toma como el costo de oportunidad del precio del maíz en noviembre-diciembre para postrera y junio-julio para primavera resultando en 0.32 y 0.52 L/kg. respectivamente. El precio de la semilla de frijol de abono en el área es de 0.71 L/kg.

Cuadro 6. Costos que varían en un año de producción de maíz bajo el sistema tradicional y de abonera en el Litoral Atlántico.

	Parcela maíz L/ha	
	En abonera	Tradicional
Maíz de primavera		
Preparación terreno		
Chapia y quema.		52.6
Siembra		
Semilla		7.5
Mano de obra siembra		21.9
Control de malezas		
Primer control manual		54.8
Gramoxone		19.9
Aplicación gramoxone		8.8
Subtotal maíz primavera		165.5
Maíz de postrera		
Preparación terreno		
Chapia.	43.8	
Siembra de maíz		
Semilla	4.6	
Mano de obra siembra	21.9	
Control de malezas		
Primer control manual	48.2	
Gramoxone	19.9	
Aplicación gramoxone	8.8	
Subtotal maíz de postrera	147.2	
TOTAL AÑO DE PRODUCCION	147.2	165.5

Control de malezas

Esta es otra operación donde existen diferencias entre sistemas debido en primer lugar a que las malezas son más agresivas en primavera que en postrera, y en segundo porque la abonera ejerce un control sobre el desarrollo de las malezas. Se considera que en el año de implantación no existen diferencias entre el maíz de postrera con y sin abonera dado que el frijol de abono se siembra cuando ya han ocurrido los dos controles que normalmente se realizan en el cultivo. Sin embargo, a partir del segundo año el control de malezas en el maíz en abonera requiere menos mano de obra que el maíz sin abonera debido al control natural del frijol de abono. La abonera implica un ahorro en los costos para el control de malezas de aproximadamente un 10% respecto al control requerido por el maíz sin abonera (Cuadro 5).

Beneficios brutos de los sistemas

El Cuadro 7 presenta los promedios de los rendimientos obtenidos por los agricultores en sus parcelas de maíz durante la postrera y primavera de acuerdo con tres fuentes de información. Aun cuando

se observa una considerable variación entre ellas, es posible observar que existe cierta consistencia en las diferencias entre sistemas. Los rendimientos del maíz en abonera superan en todos los casos a los rendimientos medios del maíz bajo los demás sistemas. Los rendimientos del maíz de primavera supera a aquellos obtenidos por el maíz de postrera cultivado sin abonera.

Para calcular el flujo de rendimientos se debe considerar que el rendimiento del maíz en abonera es dependiente de la edad que tenga este sistema. Se espera que en el primer año o sea el año de implantación del frijol de abono, los rendimientos de maíz no se vean afectados significativamente ya que la mayoría de los agricultores siembra el frijol de abono a la floración del maíz. Aunque es probable que los rendimientos aumenten en alguna medida el segundo año de sembrado el frijol de abono, no es hasta el tercer año en que los agricultores afirman que las aboneras comienzan a producir más.

Tomando los promedios ponderados del Cuadro 7 como base, y asumiendo que los rendimientos de maíz no se ven afectados en los dos primeros años de implantada la abonera se obtiene el flujo anual de rendimientos bajo los sistemas alternativos tal como se muestra en el Cuadro 8. En el caso del sistema tradicional, se estimó que después de tres años y medio de descanso el guamil produce un promedio de 188 cargas de leña por hectárea (una carga tiene 100 leños). Para obtener el flujo de beneficios brutos se ponderan los rendimientos por el precio de campo de los productos que en este caso consisten de: maíz de primavera, maíz de postrera, y leña en el caso del sistema tradicional.

Cuadro 7. Rendimientos promedios del maíz cultivados bajo diferentes sistemas de acuerdo a tres sondeos en el área del Litoral Atlántico de Honduras

Fuente	Postrera		Primav
	C/abonera	S/abonera	kg/ha
Sondeo 1989	2622 (23)	1472 (11)	
Sondeo 1991	2638 (9)	835 (7)	1668 (2)
Sondeo 1992	2340(8)	1413 (7)	
Encuesta 1992	1373 (66)	929 (49)	1200 (49)
Promedio ponderado ²	1824	1047	1218

1- Fuentes: Sondeo 1989, Avila y López, sondeos 1991y 1992, SRN y CIMMYT, encuesta 1992, Buckles *et al.* Entre paréntesis se da el número de observaciones sobre el cual se basa el promedio.

2- Promedio ponderado por el número de observaciones en los cuales se basa cada promedio individual.

Cuadro 8. Flujo estimado de rendimientos de maíz cultivado bajo tres sistemas en el Litoral Atlántico de Honduras.

Años	Rendimiento maíz en (kg/ha.).		
	Postrera		Primav ¹
	En abonera	Sin abonera	
1(implantación)	1047	1047	1218
2	1047		1218
3 al 6	1824		

1- Se debe considerar que para sostener el rendimiento de maíz por un período de 6 años sin abonera se debe cultivar una nueva parcela cada 1.5 años. Para más detalles vease el texto.

Dada la naturaleza de los sistemas que se evalúan es necesario obtener precios de tendencia o de largo plazo de los productos. Dado que a partir de 1988 el Gobierno de Honduras, cambia la política económica dentro de un programa de ajuste estructural y comienza un ajuste de precios relativos, se toma como precio de largo plazo del maíz el promedio de los precios durante el período 1987-1991.

Este precio refleja sin embargo un promedio anual y debe ser ajustado para tener en cuenta la estacionalidad predominante en los precios del maíz. El exceso estacional de oferta hace caer los precios al por mayor durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, época de cosecha de la primavera. A partir de enero los precios comienzan a subir hasta alcanzar un pequeño pico en abril, a partir de ese momento descienden a medida que ocurre la salida de la cosecha de postrera en mayo-junio pero de todas maneras se mantienen por arriba del promedio anual (Figura 4).

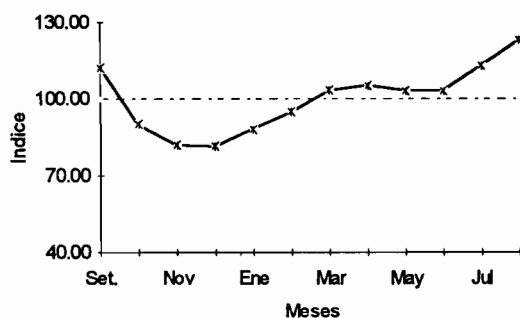


Figura 4. Índice estacional de los precios del maíz a nivel mayorista durante el período 1970-1991, Honduras

Este ciclo estacional a nivel de precios al mayorista se repite a nivel de agricultor. Aunque no se dispone de una serie de precios mensuales tan completa como aquella de los precios a nivel de mayorista, la estacionalidad de los precios a nivel de finca para el período 1990-1991 presenta el mismo patrón estacional que a nivel mayorista con los precios de postrera superando al promedio en 23% mientras que para la siembra de primavera se encuentran un 25% por debajo.

Una vez estimados los precios de tendencia ajustados por la estacionalidad se estima el precio de campo del maíz el cual se define como el precio de venta, menos el total de costos proporcionales al rendimiento. El Cuadro 9 muestra, en su primera línea los precios de venta de tendencia para el maíz de postrera y de primavera. Para obtener el precio de campo se sustraen de estos precios los costos proporcionales al rendimiento como son aquellos de dobla, cosecha, desgrane y acarreo. Algunos de estos costos difieren entre sí de acuerdo al sistema que se trate, por ejemplo en primera el maíz se dobla mientras que en postrera no. También, la cosecha requiere más mano de obra si se trata de una abonera. La última fila del Cuadro 9 muestra los precios de campo de largo plazo encontrados. Para fines del cálculo del flujo de beneficios en la próxima sección se toma 0.44 L/kg como precio de largo plazo para ambos sistemas en postrera. En el caso de la leña, no fue posible obtener una serie temporal de precios de la carga de leña para así obtener un precio de tendencia, por lo que se toma el promedio de los precios reales de los años 1990 y 1991 que resulta en 3.65 L/carga, para calcular los beneficios brutos de este subproducto del sistema tradicional.

Cuadro 9. Precio de venta, costos proporcionales al rendimiento, y precio de venta para el maíz bajo tres formas de siembra en el Litoral Atlántico de Honduras.

	Precios y costos proporcionales al rendimiento (L/kg.)		
	Postrera		Primavera
	En abonera	Sin abonera	
1- Precio de venta	0.52	0.52	0.32
2- Costos proporcionales	0.093	0.079	0.094
Dobla			0.015
Cosecha	0.034	0.02	0.02
Acarreo	0.039	0.039	0.039
Desgrane	0.02	0.02	0.02
3- Precio de campo	0.43	0.44	0.23

Rentabilidad de la abonera: retornos al capital

Varios indicadores pueden ser utilizados para evaluar la rentabilidad de largo plazo de los sistemas en términos de los retornos al capital (Harrington). En este trabajo se emplea el valor presente neto (VPN) del flujo incremental de beneficios netos de las alternativas (Steiner, 1980). El VPN no es más que la diferencia entre el valor descontado de beneficios menos el valor descontado de los costos. Si el valor calculado del VPN del flujo incremental es mayor que cero, significa que los beneficios descontados son mayores que los costos por lo que la alternativa es económicamente viable.

El Cuadro 10 muestra la evolución, para ambos sistemas, de los flujos anuales de costos que varían, donde se ha incluido el costo de cosecha, confección y acarreo de las cargas de leña en el sexto año del sistema tradicional, como así también el flujo de los beneficios brutos anuales el cual sigue el patrón de los rendimientos de maíz a excepción del último año en donde se considera el valor de la producción de leña como un subproducto del sistema tradicional.

Sustrayendo el patrón de costos anuales de los beneficios brutos, se obtiene el flujo anual de beneficios netos para ambas alternativas (Cuadro 10). Se observa que con excepción del primer año (implantación), los beneficios netos del sistema de abonera superan a los obtenidos por el sistema tradicional. El Cuadro 10 presenta también en su última columna, el flujo de beneficios netos incrementales.

Como el uso de la tierra en abonera ahorra costos al comienzo del ciclo, el incremento se estima sustrayendo los beneficios netos del sistema tradicional de aquellos que se obtendrían usando la tierra en abonera. De esa manera la última columna del Cuadro 10 representa el flujo de beneficios netos adicionales que resultarían de usar la tierra *bajo el sistema tradicional en vez de usarla bajo el sistema de abonera*.

El Cuadro 11 presenta los valores encontrados del VPN para diferentes años de vida de la abonera. Para el cálculo del VPN se toman como base dos tasas de descuento extremas: una de 40% que representa aproximadamente el costo real del dinero para los agricultores del área y una del 10% que refleja el interés real de los préstamos al sector agropecuario durante el período 1984-1988. Se realiza además un análisis a una tasa intermedia del 20%.

Cuadro 11. Indicadores de la rentabilidad relativa del sistema de siembra de maíz en abonera, Litoral Atlántico, Honduras, 1991.

Años de abonera	Valor Presente Neto (lempiras) (Estimado a tres tasas de descuento anuales)		
	10%	20%	40%
1	182	162	128
2	-36	-47	-72
3	-311	-192	-56
4	-749	-491	-201
5	-1147	-738	-302
6	-1257	-799	-322

Cuadro 10. Flujo de costos, beneficios brutos, beneficios netos por sistema e incrementales durante los seis años del ciclo de abonera. Todos los costos, beneficios brutos (BB) y beneficios netos (BN) en Lempiras/ha.

Años	Ciclos	Abonera			Tradicional			BNt-a
		Costos	BB	BN	Costos	BB	BN	Increment
	Inicial	0	0	0	200.5	0	-200.5	-200.5
1	1	222.8	0	-222.8	156.1	280.1	124	346.8
	2	0	460.7	237.9	165.5	460.7	295.2	57.3
2	3	147.7	0	-147.7	0	280.1	280.1	427.8
	4	0	460.7	460.7	0	0	0	-460.7
3	5	147.7	0	-147.7	0	0	0	147.7
	6	0	802.6	802.6	0	0	0	-802.6
4	7	147.7	0	-147.7	0	0	0	147.7
	8	0	802.6	802.6	0	0	0	-802.6
5	9	147.7	0	-147.7	0	0	0	147.7
	10	0	802.6	802.6	0	0	0	-802.6
6	11	147.7	0	-147.7	0	0	0	147.7
	12	0	802.6	802.6	234.6	684.4	449.8	-352.8

Para el cálculo se estima una tasa de interés anual promedio de 75% menos un 35% de inflación. Hasta 1987, la tasa real anual de interés se mantuvo estable alrededor de 6 a 8 % anual, pero a partir de 1988 la tasa anual de crecimiento de la inflación supera a una estancada tasa de interés nominal con lo cual las tasas reales declinan hasta hacerse negativas en los dos últimos años del período. Dado que estas últimas tasas no son sostenibles y resultan de un descontrol coyuntural de las tasas de inflación, no se consideran en el cálculo de la tasa real promedio.

Los resultados muestran que independientemente de la tasa de descuento que se use, a partir del segundo año el uso de la tierra para cultivar maíz en postrera bajo el sistema tradicional no resulta rentable. Esta alta rentabilidad del sistema de abonera estaría explicando parcialmente la rápida difusión del sistema en la región. Sin embargo, el sistema de abonera requiere de un período de inversión inicial de un año durante el cual el sistema tradicional de uso de la tierra sí resulta más atractivo. Es decir que para aquellos agricultores que sólo consideren usar la tierra un año (dos ciclos) como podrían ser arrendatarios o otras formas precarias de cultivar la tierra, no les resulta rentable instalar la abonera.

El análisis de los retornos al capital es un indicador parcial de la rentabilidad de una tecnología, existen otras medidas de la rentabilidad que pueden ser más relevantes para pequeñas fincas, como es el cálculo del retorno a la mano de obra familiar (Low, Barlett). Dvorak (1993) muestra la importancia de la mano de obra en la economía de la agricultura migratoria entre agricultores pequeños. Por este motivo y dada la percepción de los agricultores sobre la importancia del ahorro de mano de obra del sistema de abonera sobre el tradicional en la próxima sección se examina en detalle el impacto del sistema de abonera sobre el patrón de uso de la mano de obra en la finca y se estiman los retornos sobre la mano de obra familiar bajo los dos sistemas.

Rentabilidad de la abonera: retornos a la mano de obra

La introducción de la abonera en el sistema de finca modifica no solamente la forma de producción de maíz de postrera sino que implica una reacomodación del uso de tierra y de la mano de obra en la finca. El aumento en la superficie cultivada con maíz en postrera es posible porque la abonera una vez en producción requiere poco uso de mano de obra en la preparación del terreno.

Si se consideran las necesidades de mano de obra para cultivar maíz con abonera con aquellas requeridas para cultivar sin abonera o para el maíz en primavera en un año determinado (producción) las diferencias muestran que el sistema de abonera representa un ahorro del 8% respecto al maíz en postrera y de 40% respecto al maíz de primavera cuando se necesite abrir un guamil para sembrarlo. La eficiencia de uso de tierra y mano de obra del sistema de abonera se pone en evidencia si se considera no un año aislado pero el ciclo completo de vida de la abonera de 6 años. En este ciclo la abonera no sólo permite un aumento en el área cosechada del 50% con un aumento de sólo 25% en el número de parcelas usadas sino que requiere un aumento de 183 jornales que representa un aumento del 45% sobre el total de mano de obra requerida por el sistema tradicional.

La Figura 5 muestra los requerimientos mensuales de mano de obra total y por hectárea cultivada en una finca que cultiva maíz sin abonera comparada con una finca con abonera. A pesar de que esta última tiene una superficie cultivada mayor en 28% no se registran diferencias significativas en términos de los requerimientos totales a excepción del mes de julio cuando se superponen las limpiezas del maíz de primavera, del arroz y la cosecha del frijol de mayo. Noviembre es otro mes que representa altos requerimientos de mano de obra debido principalmente a las cosechas y acarreo del maíz de primavera, del arroz, del control de malezas del frijol de octubre y de la chapia para la siembra de frijol de febrero. En términos de los requerimientos por unidad de tierra, la finca con abonera representa un importante ahorro de mano de obra en el crítico mes de noviembre y en diciembre.

La Figura 6 muestra la distribución de frecuencia de la disponibilidad de mano de obra en las fincas del Litoral Atlántico en términos de unidades de trabajo por mes. Para el cálculo se usó la convención de la FAO donde se adjudica 1 unidad a un adulto varón, 0.7 de unidad a una mujer adulta, 0.50 a un adolescente o una persona mayor independiente de su género y 0.25 de unidad a un niño entre 11 y 15 años independiente del género (Murphy and Sprey). La distribución se centra en un valor de 69 UT/mes y se toma ese valor para determinar a julio y noviembre como los meses críticos respecto a mano de obra en ambos sistemas.

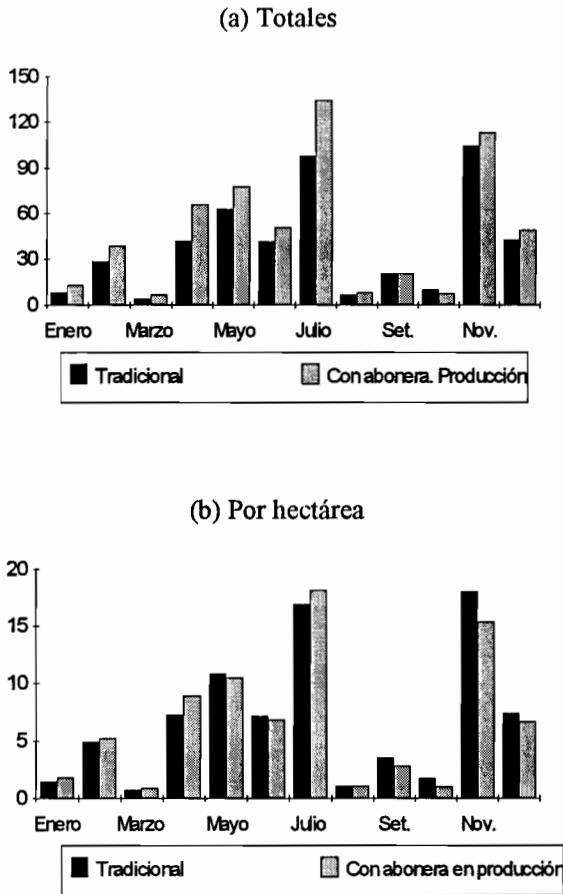


Figura 5. Requerimientos mensuales de mano de obra total y por hectárea a nivel de finca.

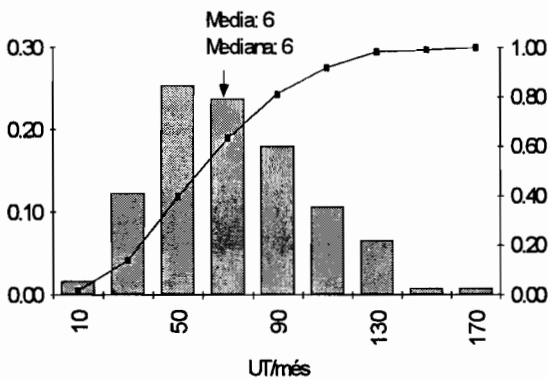


Figura 6. Distribución de la disponibilidad mensual de mano de obra en las fincas del Litoral Atlántico

Los retornos a la mano de obra familiar, se estiman como la relación entre el valor presente de los beneficios netos por unidad de mano de obra familiar utilizada en la producción de maíz bajo los dos sistemas alternativos. En este caso los costos que varían no contabilizan aquellos generados por el uso de la mano de obra familiar pero si incorporan el costo del capital en efectivo. Dado que las fincas del área usan una combinación de mano de obra familiar y contratada para las labores de preparación del terreno y siembra se asume, para fines del cálculo, que esas labores se realizan con una proporción de 50% de mano de obra familiar y 50% con mano de obra contratada. Las restantes actividades se realizan con mano de obra familiar. El costo del capital se toma como 40% anual.

El Cuadro 12 presenta la tabla de retornos netos sobre la mano de obra familiar bajo ambos sistemas. Los resultados bajo este criterio confirman aquellos obtenidos mediante el cálculo de los retornos al capital: después de un año inicial de inversión la abonera se vuelve más rentable que el sistema tradicional al segundo año y así permanece bajo todo el período. Más aun, bajo este criterio la abonera y el sistema tradicional rinden igual aun en el año de implantación. Nótese también que para las tres tasas de descuento los retornos a la mano de obra familiar bajo ambos sistemas superan holgadamente al salario real de largo plazo de 4.38 L/jornal.

Cuadro 12. Tabla de retornos netos a la mano de obra familiar en lempiras por jornal.

Años de abonera	Sistema con abonera			Sistema tradicional		
	10%	20%	40%	10%	20%	40%
1	12.2	12.2	12.2	11.7	11.7	11.7
2	14.4	13.4	12.8	10.6	10.4	10.0
3	18.9	17.1	14.4	10.6	10.4	10.0
4	20.7	17.9	14.1	10.6	10.4	10.0
5	21.4	17.8	13.2	10.6	10.4	10.0
6	21.5	17.2	12.2	10.5	9.4	7.8

El impacto del sistema de abonera sobre el valor de la tierra

La introducción del sistema de abonera en el sistema de finca modifica significativamente el valor de la tierra una vez que se encuentra establecido en una área, y que los agricultores reconocen las

bondades del sistema en la generación de una mayor rentabilidad del cultivo. Este reconocimiento se expresa en el área del Litoral Atlántico a través de la disposición a pagar mejores precios por el alquiler de la tierra para el cultivo del maíz de postrera.

La información suministrada por los sondeos realizados en el área permitieron identificar una diferencia significativa entre el precio del alquiler de la tierra para la siembra de maíz en postrera si es que la parcela estaba o no en abonera (Cuadro 13). de acuerdo con los valores más frecuentes (moda) encontrados, los agricultores estarían dispuestos a pagar un sobreprecio de 50 lempiras/ha. por el derecho de cultivar maíz en una parcela en abonera en vez de hacerlo en una que ha estado en descanso. Este sobreprecio refleja la percepción de los agricultores de la mejor capacidad productiva de la tierra que se encuentra bajo el sistema de abonera. Este valor es bastante inferior a las diferencias entre beneficios netos que se obtienen con ambos sistemas que equivale aproximadamente a 350 lempiras por hectárea cuando la abonera tiene más de tres años.

Cuadro 13. Distribución del valor de alquiler de la tierra de acuerdo a su uso, Litoral Atlántico, Honduras, 1991.

	Alquiler por sistema (L/Ha.)				
	Abonera		Guatal	Guamil	Postrera
	Menos 3 años	Más 3 años	Menos 3 años	Más 3 años	
Media	135	140	83	90	78
Mediana	125	125	75	75	69
Moda	125	125	63	63	125
Desv. Est.	33.1	32.6	43.1	41.6	39.1
Mínimo	40/8	60/8	20/8	20	20
Máximo	200	200	200	200	125
Observ.	23	23	23	22	10

REFERENCIAS

Avila Nájera R. y J. L. Lopez. Sondeo preliminar en la asociación maíz frijol de abono (*Mucuna* sp) en el Litoral Atlántico de Honduras. Trabajo presentado en la XXXVI Reunión anual del Programa Cooperativo Centroamericano

para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA), San Salvador, El Salvador, 26-30 de Marzo de 1990.

Barlett, P. F. Cost-Benefit Analysis: A Test of Alternative Methodologies. In Barlett, P. F. (ed): *Agricultural Decision Making: Anthropological Contributions to Rural Development*. New York, Academic Press, 1980. Pags. 137-160.

Buckles, D., J. Salgado, H. Bojorque, H. Antunez, L. Mejía, H. Nolazco, L. de Ramos, G. Medina y R. Matute. Resultados de la encuesta exploratoria sobre el uso de frijol de abono (*Stizolobium Deeringianum*) en las laderas del Litoral Atlántico de Honduras. En: Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe, *Análisis de los Ensayos Regionales de Agronomía*, 1991. Guatemala, Junio 1991.

Buckles, D., I. Ponce, G. Sain, y G. Medina. Tierra cobarde se vuelve valiente: Uso y difusión del frijol de abono (*Mucuna*) en las laderas del Litoral Atlántico de Honduras En elaboración, CIMMYT, México, 1992..

Dvorak Karen Ann, *Resource Management by West African Farmers and the Economic of Shifting Cultivation*. Amer. J. Agr. Econ. Aug. 1992,p. 809-815.

Flores G. y H. Licona Investigación agrícola en campos de agricultores. El caso de Jutiapa, Honduras. Trabajo presentado en la XXXI Reunión anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA), San Pedro Sula, Honduras , Marzo de 1985.

Harrington L. W., *Measuring Sustainability: Issues and Alternatives*. Paper presented at the 11th Annual AFSRE Symposium, Michigan State University, East Lansing, Michigan, 5-10 October, 1991.

Low, A. *Agricultural Development in Southern Africa: Farm Household Theory & the Food Crisis*. London: James Currey, 1986.

Murphy J. and L.H. Sprey. *Monitoring and Evaluation of Agricultural Change*. ILRI, Wageningen, 1982.

Steiner Henry M. *Public and Private Investments. Socioeconomic Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. New York 1980.

Secretaría de Recursos Naturales., *Compendio Estadístico Agropecuarios*. 1990,1991. Unidad de Planificación Sectorial Agrícola., Departamento de Información Agrícola. Tegucigalpa, M.D.C. Honduras, 1991.

Factibilidad Económica de Intercalar una Leguminosa en el Sistema Maíz-Frijol Predominante en Opico-Quezaltepeque, El Salvador

C. Choto de Cerna, T. Montenegro, G. Saín y E. Borbón¹

RESUMEN

El Programa Regional de Maíz de El Salvador inició en 1989 un programa de investigación destinado al desarrollo de tecnologías adecuadas para suelos de laderas, frágiles, de baja fertilidad o bajo un sistema de agricultura de subsistencia con el propósito de reducir la degradación de estos suelos y así ayudar a mantener la sostenibilidad de los sistemas de producción en estas áreas. Para la zona de Opico-Quezaltepeque se evaluaron agrónomicamente y económicamente en los ciclos 91-92, dos leguminosas para ser intercaladas con el maíz a saber: *Vigna unguiculata* L. y *Canavalia ensiformis* L. La hipótesis prevalectante para la evaluación económica se basó en el rol de las leguminosas en: a) Por el lado de los costos, en la reducción del rendimiento en el primer ciclo por efecto de la competencia por nutrientes y agua; y b) Por el lado de los beneficios, la reducción de los costos en el control de malezas y el aporte de nitrógeno (N) al sistema de cultivo; medido por el efecto residual sobre el rendimiento del cultivo posterior. Los resultados mostraron que en el primer año los rendimientos de maíz disminuyeron y a la vez hubo un efecto residual sobre los rendimientos del maíz del ciclo siguiente. Sin embargo, el análisis económico actualizado mostró que este incremento no fue suficiente, a los precios domésticos, para compensar la disminución del primer año.

En el área de Centro América y el Caribe una gran proporción del maíz se siembra en zonas caracterizadas por suelos de baja fertilidad, frágiles, en laderas, y bajo una agricultura de subsistencia de bajos insumos. Debido a su ubicación en laderas y a un manejo inadecuado los suelos en estas zonas sufren de un potencial de erosión alto, y han sufrido una degradación severa en sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

El Programa Regional de Maíz (PRM) inició en 1989 un programa de investigación destinado al desarrollo de tecnologías adecuadas a la reducción de la degradación de estos suelos y así ayudar a mantener la sustentabilidad de los sistemas de producción de maíz en estas áreas marginales. El Programa consideró la evaluación en diferentes ambientes de

Centro América sobre el uso potencial de distintas leguminosas intercaladas con el maíz. Las hipótesis prevalectantes para esta evaluación se basaron en el rol de las leguminosas en: a) reducir la erosión por efecto de una mejor cobertura del suelo, b) reducir la incidencia de las malezas, c) aportar nitrógeno (N) al sistema de cultivo mediante la fijación del N atmosférico; y (d) mejorar la estructura del suelo mediante un mayor aporte de materia orgánica.

Se reconoce, sin embargo, que en el corto plazo el efecto de intercalar la leguminosa en el sistema trae aparejado una reducción en el rendimiento por efecto de la competencia por nutrientes, agua, y luz (Francis, 1989). Este costo se ilustra en la Figura 1, donde se muestra una de las posibles curvas de transformación para una superficie dada de tierra y para un cierto nivel tecnológico.

El costo por competencia que surge de intercalar la leguminosa con el maíz en el primer ciclo, está dado por el valor de la reducción en rendimientos en maíz respecto al sistema en monocultivo: $P_m (Y_{m1} - Y_{m0})$, menos el valor de la producción de la leguminosa: $P_l (Y_{l1})$. Donde P_m y P_l son los precios de campo del maíz y de la leguminosa respectivamente; Y_{m0} y Y_{l0} son los rendimientos en monocultivo para el maíz y la leguminosa respectivamente y Y_{m1} y Y_{l1} son aquellos obtenidos después del intercalado. Se estima sin embargo, que en el mediano o largo plazo estas desventajas sean neutralizadas por los efectos positivos mencionados anteriormente. El control de malezas, por ejemplo ha sido reportado como uno de los componentes más importantes de los costos de producción de maíz al representar una elevada demanda de mano de obra. Se espera que la rápida cobertura del suelo de algunas leguminosas produzcan una reducción importante en este costo por disminución en la incidencia de las malezas. Lo mismo se puede decir respecto al fertilizante que generalmente representa uno de los costos en efectivo más importantes.

¹ C. Choto, y T. Montenegro son técnicos de la Unidad de Socioeconomía del CENTA. G.Saín, y E. Borbon son economistas agrícolas de el Programa Regional para Centroamérica y el Caribe del CIMMYT.

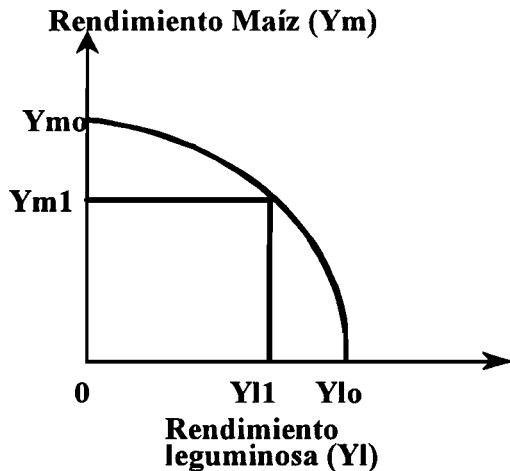


Figura 1. El costo de intercalar una leguminosa en el cultivo de maíz.

Con estos antecedentes el Proyecto se concentró en la evaluación agronómica y económica del impacto de intercalar tres leguminosas: *Stizolobium deeringarum*, *Vigna unguiculata* y *Canavalia ensiformis* con el maíz en una gran variedad de ambientes a través de la región centroamericana.

Estas tres leguminosas fueron elegidas como las más promisorias de acuerdo a una serie de ensayos previos, en donde se evaluaron diferentes criterios; tal como la adaptación al crecimiento bajo las condiciones de sombra que establece el maíz. Los resultados obtenidos durante los ciclos de 1989, y 1990 permitieron ajustar los tratamientos a las condiciones prevalecientes en los sistemas de producción locales. En el caso del sistema maíz-frijol predominante en el área de Opico-Quezaltepeque de El Salvador, se decidió eliminar el tratamiento correspondiente al intercalado de *Stizolobium deeringarum*. De esa manera en 1991 se comenzó un ciclo experimental con las dos leguminosas restantes. Trabajos previos han reportado cantidades de N fijados por *Canavalia ensiformis* y *Stizolobium deeringarum* en el orden de los 190 y 157 kg/ha/año respectivamente (Mello, 1978).

El objetivo del presente trabajo es el de evaluar el potencial económico de cada una de las dos leguminosas para ser introducidas en el sistema de siembra del maíz prevaleciente en el área de Opico-Quezaltepeque. Para ello, se procede primero a caracterizar el sistema de producción prevaleciente,

para luego realizar la evaluación socioeconómica propiamente dicha. Para concluir se presenta un conjunto de conclusiones, así como las necesidades de estudios posteriores.

METODOLOGIA

El método propuesto es el de presupuesto parcial y análisis incremental (CIMMYT 1988) extendido para incorporar los efectos residuales tal como es explicado en Sain *et al.*, 1991. En adición, las posibles interacciones con el sistema del agricultor de cada leguminosa se tratan como costos o beneficios, en ese sentido se trata de un análisis económico normativo, es decir, que pasaría si el agricultor incorporara la leguminosa en su sistema.

La información para la caracterización del sistema agrícola se obtuvo de un sondeo estructurado llevado a cabo con los agricultores del área, los rendimientos fueron obtenidos de los resultados de los experimentos ejecutados en 1991 y 1992. Esta información se complementó con datos obtenidos de información secundaria.

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE OPICO-QUEZALTEPEQUE

El área conocida como Opico-Quezaltepeque se ubica a unos 34 kms al Noroeste de San Salvador, tiene una extensión de 344 km² (34,400 ha.) y comprende los municipios de San Juan Opico y Quezaltepeque, ambos del departamento de La Libertad. En la zona se presentan dos tipos principales de topografía, por un lado terrenos alomados con pendientes por arriba del 30% y los terrenos planos con pendientes menores al 30%. Las elevaciones oscilan entre los 300 y 1000 metros sobre el nivel del mar.

El régimen de lluvias en la zona es de tipo monzoico es decir seis meses de lluvia y 6 meses secos, existiendo una precipitación promedio anual de 1700 mm, siendo los meses más lluviosos julio y setiembre. (Cuadro 1). La temperatura varía entre los 17.5 y 32.9 °C, con un promedio anual de 23.8 °C. Siendo los meses de noviembre, diciembre y enero los de más bajas temperaturas y abril y mayo los de temperaturas más altas.

Cuadro 1. Promedios mensuales de precipitación en el área de Opico-Quezaltepeque, El Salvador, 1983.

Estación Meteorológica	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
San Andrés	7	2	10	66	182	295	322	296	304	173	37	7
	4	0	14	64	164	266	284	343	293	191	41	11
Hda. Atiocoyo	7	0	32	64	200	308	252	318	258	162	16	5
Promedio	6	0.6	19	65	182	290	306	319	285	175	31	8

Descripción de la Agricultura del Area

Como se observa en el cuadro 2, de acuerdo al Censo Nacional Agropecuario de 1971, cerca del 67% de las explotaciones se realizan en terrenos propios o se realizan en terrenos arrendados. Los cuadros 3, 4 y 5 muestran a su vez la distribución del uso de la tierra por categorías. Como se observa en el cuadro 5, el cultivo permanente más importante es el café con el 92% del área, seguido por la siembra de naranjos. El resto del área está sembrado de otros cultivos, sin que ninguno logró una participación porcentual destacada.

El área promedio de las fincas que siembran maíz-frijol es de 1.05 ha y en su mayoría el sistema de maíz y frijol en relevo es el predominante (solamente un 7% poseen otros cultivos como sorgo y arroz). Casi la mitad (43%) de los agricultores encuestados pertenecen al decreto 207² y únicamente el 11% pertenecen a cooperativas del sector reformado (cooperativas de San Andrés y La Virtud). Una quinta parte (18%) ha tenido experiencias satisfactorias en el cooperativismo y solo el 14% de los encuestados manifestó que le gustaría pertenecer a una cooperativa. Dentro de los beneficios y/o servicios que esperan de las cooperativas se encuentran el de gozar de facilidades de crédito, la compra de insumos a menor precio y que los insumos sean proporcionados en la época adecuada. La siembra de maíz se realiza en el mes de mayo y la de frijol en el mes de agosto. Tres cuartas partes (75%) siembran superficies de maíz y frijol menores de 1 hectárea. Los rendimientos de maíz oscilan entre 3.5 y 4.5 t/ha y los de frijol fluctúan entre 0.7 y 1.2 t/ha.

Muy pocos (11%) de los agricultores que cultivan maíz-frijol realizan obras de conservación de suelos; encontrándose con mayor frecuencia las barreras de piedra y barreras vivas. Pero la mayoría (71%) efectúa la siembra siguiendo las curvas a nivel. Los

agricultores del área manifiestan que los meses más difíciles para conseguir mano de obra para desarrollar labores culturales en el sistema maíz-frijol son los meses de mayo, agosto y noviembre y en algunas ocasiones junio y julio ya que en estos meses se realizan las labores de siembra, control de malezas, dobla, y cosecha.

Cuadro2. Tipo de tenencia en Opico-Quezaltepeque, El Salvador.

Forma de tenencia	No	%
En propiedad	1704	32.6
En arrendamiento simple	1786	34.2
En colonia	678	13.0
Con promesa de venta	257	4.9
Otra forma	246	4.7
Gratuita y arrendamiento simple	52	1.0
Total	523	100

Cuadro 3. Explotaciones y uso de la tierra en el área de Opico-Quezaltepeque, El Salvador. 1983

Uso de la tierra por categoría	Area (ha)	%
Tierra de labranza	8593	34.2
Cultivos permanentes	4574	18.2
Pastos naturales	6211	24.7
Pastos sembrados	671	2.7
Montes y bosques	2655	10.6
Otros usos	2427	10.0
Total	25131	

Cuadro 4. Uso de la tierra en área de Opico-Quezaltepeque, El Salvador 1983.

Uso de la tierra de labranza	Area (ha)	%
Maíz híbrido	4047	47.0
Maíz Nacional	640	7.5
Frijol/solo	67	1.0
Arroz	166	1.9
Sorgo	171	2.0
Cultivo Asociado	409	5.0
Cultivo Industrial	2342	27.3
Tierra en Descanso	751	8.7
Total	8593	

² El Decreto 207 permitió el traspaso de tierras a quienes las cultivaban bajo cualquier forma de arrendamiento, son tierras no mayores de 7 hectáreas, (MAG-OSPA-PERA, 1987)

Cuadro 5. Distribución del área con cultivos permanentes. Opico-Quezaltepeque, El Salvador. 1983.

Uso de la tierra en cultivos permanentes	Area (ha)	%
Cafè	4199	91.80
Naranja	232.1	5.07
Guineo/plátano	15	0.33
Piña	32	0.7
Frutales	25.2	0.55
Otros Cultivos	70.7	1.55
Total	4574	100.00

El crédito es común en la zona ya que el 82% de los agricultores que cultivan maíz ó frijol trabajan con crédito. El principal proveedor de crédito es el Banco de Fomento Agropecuario (64%), seguido por las cooperativas (11%) y por Cajas de Crédito Rural (4%). De los agricultores que reciben crédito un 36% solicitaron crédito para áreas menores a 0.7 hectáreas, un 29% para áreas comprendidas entre 0.70 y 1.40 ha y únicamente el 18% de los agricultores solicitaron crédito para áreas entre 1.40 y 3.50 ha. Los montos del crédito oscilan entre 1000 y 5000 colones (36%) mientras que el 29% obtuvo montos menores a 500 colones. El plazo del crédito es por un año, con una tasa de interés del 13% anual, aunque la mayoría de los agricultores mencionó desconocer la tasa de interés que se aplicaba al crédito. El crédito otorgado incluye dinero e insumos y la mayoría de los agricultores (68%) manifestaron que el crédito lo reciben en forma oportuna.

El 36% de los agricultores manifestaron que el crédito les permite aumentar el área de siembra, ya que les da facilidad para conseguir insumos. En contraposición un 43% de ellos manifestaron que aunque logren tener crédito, no es posible aumentar las áreas de siembra debido a que hay escasez de tierra para la siembra. El principal problema que se presenta cuando el agricultor no adquiere crédito es el de la compra de insumos.

El 61% de los agricultores encuestados manifiestan haber recibido asistencia técnica de los cuales, el 88% recibió ésta del CENTA, y un 6% del BFA. De los agricultores que recibieron asistencia técnica, una cuarta parte manifestó que es visitado una vez al mes y una 21% que la frecuencia es de dos veces por más. Además de las visitas, casi una tercera parte (28%) de los agricultores participó en reuniones, un 4% asistió a demostraciones y un 11% participó en giras demostrativas. El 88% de los agricultores que reciben asistencia técnica manifiestan que la reciben para el

sistema maíz-frijol y un 12% solamente para maíz. Las recomendaciones más frecuentes fueron sobre el control de plagas de follaje y del suelo y sobre fertilización. El 90% de los agricultores que recibieron estas recomendaciones manifestaron haberlas puesto en práctica y que le produjeron buenos resultados.

La venta de maíz y frijol se realiza predominantemente en los meses de diciembre y enero pudiendo prolongarse hasta febrero y marzo respectivamente. Las ventas de maíz son realizadas a mayoristas (43%) e intermediarios (57%). En el caso del frijol la situación es similar, el 25% vende a mayoristas y el 54% a intermediarios. Las ventas se realizan en la finca (68%) y en menor medida (17%) en la ciudad de Opico. Las cantidades de maíz que los agricultores venden son proporcionales al área que cultivan encontrándose fluctuando entre 0.46 y 4.6 ton por agricultor. En el caso del frijol éstas oscilan entre 0.046 y 0.92 ton. Los precios obtenidos por la venta de maíz para el año 1991, oscilaron entre 457 y 652 colones/ton y para el frijol entre 1304 y 1739 colones/ton.

EVALUACION DE LA FACTIBILIDAD ECONOMICA DE INTRODUCIR UNA LEGUMINOSA EN EL SISTEMA

El cuadro 6 muestra en su primera parte los presupuestos parciales para el ciclo inicial de maíz, y el ciclo residual de frijol para el año 1991, a continuación se presentan los ciclos residuales de maíz y frijol correspondientes al año 1992. Se debe notar que para este análisis se toma como costos aquellos relacionados con la disminución de rendimientos de maíz por efecto de la competencia de la leguminosa y aquellos correspondientes a su implantación. Por el lado de los beneficios solo se contabilizan la disminución de costos de control de malezas en el ciclo inicial y los efectos residuales en los ciclos posteriores.

En el ciclo inicial los beneficios netos del maíz en monocultivo superan ampliamente a aquellos obtenidos con maíz y canavalia y levemente a los de maíz con vigna. Este último resultado depende de la posibilidad de venta de la producción de grano de vigna. En cuanto a los efectos residuales no se encontró un impacto sobre el cultivo inmediato de frijol, pero sí en el segundo ciclo residual correspondiente a la siembra de maíz de 1992 (Cuadro

6). En este último caso los beneficios netos correspondientes a los efectos residuales de Canavalia incrementaron en un 62% respecto al monocultivo mientras que en el caso de vigna este incremento fué de 34%.

El análisis marginal actualizado usando una tasa de descuento del 15% mostró sin embargo que a esta tasa los efectos residuales no fueron suficientes para compensar los costos iniciales de intercalar las leguminosas. Aunque la leguminosas reducen los costos totales que varían, la reducción en rendimientos del primer ciclo fueron demasiados extremos. Se debe tener en cuenta sin embargo que no se han tenido en cuenta en el análisis beneficios de largo plazo del intercalado de la leguminosas tales como una mejora en la calidad del suelo y un mejor manejo del agua. También se debe notar que una tasa real de descuento del 15% es exigente para tecnologías de conservación. De todas maneras se debe investigar más sobre formas de reducir los costos iniciales de competencia para hacer la técnica más atractiva al agricultor en el corto plazo.

Cuadro 6. Presupuesto parcial para el cultivo del maíz. Siembra de 1991. El Salvador .

a) Ciclo Inicial

	TRATAMIENTOS		
	Maiz	Maiz/ Canav	Maiz/ Vigna
Rendimiento grano maíz (tm/Ha.)	3.86	3.45	3.21
Rendimiento grano leguminosa (tm/Ha.)	0	0	.360
Precio de campo del grano maíz (\$/tm)	177.4	177.4	177.4
Precio de campo grano leguminosa (\$/tm)			260.0
Beneficio Bruto de campo (\$/Ha.)	684.76	612.03	663.05
Costo de semilla leguminosa \$/ha	0	10.9 ¹	11.7 ²
Costo M. de O. siembra leguminosa \$/ha	0	6.25 ³	6.25 ³
Costo control malezas.\$/ha. ⁴	62.91	27.47	27.47
Total costo que varían (\$/Ha.)	62.91	44.62	45.42
Beneficio Neto de campo (\$/Ha.)	621.85	567.41	617.63

b) Primer Ciclo Residual.Siembra De 1991

	TRATAMIENTOS		
	Maiz mono	Maiz/ Canav	Maiz/ Vigna
Rendimiento grano frijol (tm/Ha.)	1.10	0.85	0.96
Precio de campo del grano frijol (\$/tm)	720	720	720
Beneficio Bruto de campo (\$/Ha.)	792	612	691.2
Total costos que varían (\$/Ha.)	0	0	0
Beneficios Netos de campo (\$/Ha.)	792	612	691.2

c) Segundo ciclo residual. Siembra de 1992.

	TRATAMIENTOS		
	Maiz mono	Maiz/ Canav	Maiz/ Vigna
Rendimiento grano maíz (tm/Ha.)	1.35	2.19	1.81
Rendimiento rastrojo maíz (tm/Ha.)			
Precio de campo del grano maíz (\$/tm)	181	181	181
Precio de campo rastrojo maíz (\$/tm)			
Beneficio Bruto de campo (\$/Ha.)	244.4	396.4	327.6
Total costos que varían (\$/Ha.)	0	0	0
Beneficios Netos de campo (\$/Ha.)	244.4	396.4	327.6

d) Tercer Ciclo Residual: Siembra de 1992

	TRATAMIENTOS		
	Maiz mono	Maiz/ Canav	Maiz/ Vigna
Rendimiento grano frijol (tm/Ha.)	0.581	0.641	0.507
Rendimiento rastrojo frijol (tm/Ha.)			
Precio de campo del grano frijol (\$/tm)	370	370	370
Precio de campo rastrojo frijol (\$/tm)			
Beneficio Bruto de campo (\$/Ha.)	214.97	237.17	187.59
Total costos que varían (\$/Ha.)	0	0	0
Beneficios Netos de campo (\$/Ha.)	214.97	237.17	187.59

e) Análisis Marginal Actualizado. (I=0.15 Anual)

	TRATAMIENTOS		
	Maíz mono	Maíz/Canav	Maíz/Vigna
Total costos que varían actualizados (\$/Ha.)	62.91	44.62	45.42
Beneficios netos de campo actualizados (\$/Ha.)	1743.0	1670.5	1694.7

f) Tasa De Retorno Marginal Actualizado.

Tratamientos	TCVA	BNA	TMRA
Maíz-Canavalia	44.62	1670.51	
Maíz-Vigna	45.42	1694.68	30.46
Maíz monocultivo	62.19	1742.95	2.75**

NOTAS:

¹10 kg/ha * 1.09 \$/kg. Precio aproximado tomando como base el precio del *Dolichus lablab* (frijol de enredadera). ²45 kg/ha * 0.26 \$/kg. ³2.5 jornales/ha * \$2.5/jornal. ⁴Los agricultores realizan un primer control químico con gramoxone con un costo de \$27.47/ha y un segundo control manual con un costo de \$35.44/ha. La cobertura de la leguminosa sembrada conjuntamente con el maíz permite el ahorro de este segundo control manual. ⁵Precios considerados:

	1991	1992
P venta del maíz col/kg	1.55	1.76
Costos propor. col/kg	0.12	0.13
P campo del maíz col/kg	1.43	1.63
Tasa de cambio col/us\$	8.06	9.0
P campo del maíz us\$/TM	177.4	181.0
P campo de la vigna us\$/TM	260.0	
P campo del frijol us\$/TM	720.0	370

REFERENCIAS

CIMMYT 1988., La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D F., México: CIMMYT.

Francis, C. A., 1989. Biological efficiencies in multiple cropping systems. *Advances in Agronomy*, Vol. 42. Madison, WI.

Mello F., 1978. N fixation by some legumes. *Revista de Agricultura, Piracicaba, Brasil*. Vol. 53, No. 1/2.

Sain G., E. Borbón, H. Barreto, y W. Raun. 1991., Análisis económico de los resultados experimentales cuando las consecuencias se extienden más de un período. Trabajo presentado en la XXXVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA). Panamá, marzo, 1991.

Análisis Económico de Introducir una Leguminosa en el Sistema de Producción de Maíz en el Municipio de San Diego, Zacapa, Guatemala

Carlos Valladares y Gustavo Saín

RESUMEN

El ICTA inició en 1989 un programa de investigación destinado al desarrollo de tecnologías adecuadas para suelos de laderas, frágiles, de baja fertilidad o bajo un sistema de agricultura de subsistencia con el propósito de reducir la degradación de estos suelos y así ayudar a mantener la sostenibilidad de los sistemas de producción en estas áreas. Se evaluaron agrónomica y económicamente tres leguminosas para ser intercaladas con el maíz a saber: *Vigna unguiculata* y *Canavalia ensiformis* y *Mucuna* en dos áreas de Guatemala: Cuyuta (ciclos 1989-1990); y Zacapa (ciclos 1990-1991). La hipótesis prevalectante para la evaluación económica se basó en el rol de las leguminosas en: a) Por el lado de los costos, en la reducción del rendimiento en el primer ciclo por efecto de la competencia por nutrientes y agua; y b) Por el lado de los beneficios, la reducción de los costos en el control de malezas y el aporte de nitrógeno (N) al sistema de cultivo; medido por el efecto residual sobre el rendimiento del cultivo posterior. Los resultados mostraron que en el primer año los beneficios netos disminuyeron por efecto del intercalado de las leguminosas y a la vez hubo un efecto residual sobre los rendimientos del maíz del ciclo siguiente. Sin embargo, el impacto fue diferente por localidad. En Zacapa, el incremento en beneficios netos no fue suficiente, a ninguna tasa de descuento razonable para compensar la disminución del primer año y el sistema de monocultivo fue el más rentable. En Jutiapa, con rendimientos mucho más altos, el intercalado con *Canavalia* resultó rentable a tasas de descuento relativamente bajas (5% o menos).

En el área de Centro América y el Caribe una gran proporción del maíz se siembra en zonas caracterizadas por suelos de baja fertilidad, frágiles, en laderas, y bajo una agricultura de subsistencia de bajos insumos. Debido a su ubicación en laderas y a un manejo inadecuado los suelos en estas zonas sufren de un alto potencial de erosión y han sufrido una degradación severa en sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

El Programa Regional de Maíz (PRM) inició en 1989 un programa de investigación destinado al desarrollo de tecnologías adecuadas a la reducción de

la degradación de estos suelos y así ayudar a mantener la sustentabilidad de los sistemas de producción de maíz en estas áreas marginales. El Programa consideraba la evaluación en diferentes ambientes de Centro América del uso potencial de distintas leguminosas intercaladas con el maíz.

Se reconoce, sin embargo, que en el corto plazo el efecto de intercalar la leguminosa en el sistema trae aparejado una reducción en el rendimiento por efecto de la competencia por nutrientes, agua, y luz (Francis, 1989). Este costo se ilustra en la Figura 1, donde se muestra una de las posibles curvas de transformación para una superficie dada de tierra y para un cierto nivel tecnológico.

El costo por competencia que surge de intercalar la leguminosa con el maíz en el primer ciclo, está dado por el valor de la reducción en rendimientos en maíz respecto al sistema en monocultivo: $P_m(Y_{m1}-Y_{m0})$, menos el valor de la producción de la leguminosa: $P_l(Y_{l1})$. Donde P_m y P_l son los precios de campo del maíz y de la leguminosa respectivamente; Y_{m0} y Y_{l0} son los rendimientos en monocultivo para el maíz y la leguminosa respectivamente y Y_{m1} y Y_{l1} son aquellos obtenidos después del intercalado.

Se estima sin embargo, que en el mediano o largo plazo estas desventajas sean neutralizadas por los efectos positivos mencionados anteriormente. El control de malezas, por ejemplo ha sido reportado como uno de los componentes más importantes de los costos de producción de maíz al representar una elevada demanda de mano de obra. Se espera que la rápida cobertura del suelo de algunas leguminosas produzcan una reducción importante en este costo por disminución en la incidencia de las malezas. Lo mismo se puede decir respecto al fertilizante que generalmente representa uno de los costos en efectivo más importante. Trabajos presentados por Mello (1978) reportaron cantidades de N fijados por *Canavalia ensiformis* y *Stizolobium deringarum* en el orden de los 190 y 157 kg/ha/año respectivamente.

¹Investigador del Programa de Socioeconomía del ICTA y Economista Regional de CIMMYT para Centro América y el Caribe, San José, Costa Rica.

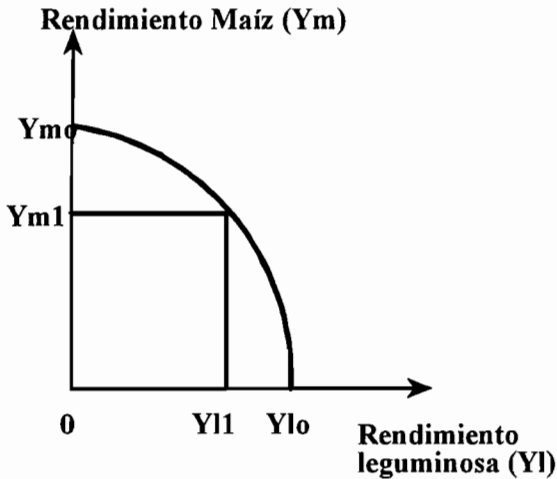


Figura 1. El costo de intercalar una leguminosa en el cultivo de maíz

Con estos antecedentes el Proyecto se concentró en la evaluación agronómica y económica del impacto de intercalar tres leguminosas: *Stizolobium deeringarum* (mucuna), *Vigna unguiculata* (vigna) y *Canavalia ensiformis* (canavalia) con el maíz en una gran variedad de ambientes a través de la región centroamericana. Estas tres leguminosas fueron elegidas como las más promisorias de acuerdo con una serie de ensayos previos, en donde se evaluaron diferentes criterios; tal como la adaptación al crecimiento bajo las condiciones de sombra que establece el maíz. Los resultados obtenidos durante los ciclos de 1989, y 1990 permitieron ajustar los tratamientos a las condiciones prevalecientes en los sistemas de producción locales.

El objetivo del presente trabajo es el de evaluar el potencial económico de cada una de las dos leguminosas para ser introducidas en el sistema de siembra del maíz prevaleciente en el área de San Diego, Departamento de Zacapa. Para ello, se procede primero a caracterizar el sistema de producción prevaleciente, para luego realizar la evaluación socioeconómica propiamente dicha.

METODOLOGIA

El método propuesto es el de presupuesto parcial y análisis incremental documentado en el Manual del CIMMYT (1988) pero extendido para incorporar los efectos residuales tal como es explicado en Sain *et al.*, (1991). En adición, las posibles interacciones con el

sistema del agricultor de cada leguminosa se tratan como costos o beneficios, en ese sentido se trata de un análisis económico normativo, es decir, que pasaría si el agricultor incorporara la leguminosa en su sistema.

RESULTADOS

En esta sección se presenta el cálculo de la rentabilidad de los cuatro tratamientos involucrados en el experimento. El ciclo inicial, es decir cuando se intercaló la leguminosa con maíz ocurrió en el ciclo 1990 mientras que el residual ocurrió en 1991. El Cuadro 1 presenta el análisis de presupuesto parcial para ambos periodos y el análisis incremental actualizado. Se debe notar que con el fin de aislar los efectos residuales de aquellos efectos debidos a fluctuaciones anuales en los precios del maíz, el presupuesto parcial se realizó considerando un precio promedio del maíz pagado al agricultor en el área de 125.7 US\$/ton. para ambos periodos. Se debe observar también que los costos que varían en el ciclo residual son nulos debido a que todos los tratamientos recibieron un tratamiento uniforme por lo que las diferencias en rendimiento se deben a los efectos residuales del ciclo anterior.

Los resultados muestran que en el primer año los rendimientos de maíz disminuyeron sustancialmente por efecto del intercalado provocando una disminución de alrededor del 60% en los beneficios netos en relación con el monocultivo. El efecto residual sobre los rendimientos del maíz del ciclo 1991 aunque positivos no fueron suficientes para compensar la pérdida en el primer ciclo, los beneficios netos registraron aumentos en este ciclo que oscilaron entre 26% para la *Mucuna* y 3% para la *Vigna*. Como consecuencia el análisis incremental actualizado muestra al monocultivo como la alternativa más rentable para el agricultor.

Dado que los rendimientos de este ensayo fueron bajos por efecto de la sequía, se consideró conveniente realizar un análisis económico similar en un ambiente de rendimientos mas altos. Para ello se tomó el ensayo de leguminosas intercaladas que se realizó en el área de Cuyuta con ciclo inicial en 1989 y ciclo residual 1990. La estructura de tratamientos fue similar al experimento ya analizado pero en este caso el rendimiento promedio del ensayo fue de 5.6 t/ha. El Cuadro 2 muestra los presupuestos parciales para cada ciclo y el análisis marginal actualizado.

Cuadro 1. Presupuesto parcial y análisis incremental del experimento de leguminosas intercaladas en San Diego, 1990-1991.

<i>A) Ciclo inicial 1990</i>				
	Monoc.	Mucuna	Canav	Vigna
Rendimiento grano maíz (Tm/ha.)	1.49	0.65	0.64	0.75
Rendimiento grano leguminosa (Tm/ha.)	0	0	0	0.36
Precio campo grano maíz \$/Tm.	125.7	125.7	125.7	125.7
Precio campo grano leguminosa \$/Tm.	0	0	0	0
Beneficio bruto de campo (\$/ha.)	187.3	81.7	80.5	94.3
Costo semilla leguminosa (\$/ha.)		2.89	3.91	10.2
Costo mano obra siembra (\$/ha.)		12	12	12
Costo 2do control malezas (\$/ha.)	18	0	0	0
Total costo que varia \$/ha.	18	14.89	15.91	22.2
Beneficios netos \$/ha.	169.3	66.8	64.5	72.1

<i>B) Ciclo residual 1991</i>				
	Monoc.	Mucuna	Canav	Vigna
Rendimiento grano maíz (Tm/ha.)	0.35	0.44	0.43	0.36
Rendimiento grano leguminosa (Tm/ha.)	0	0	0	0.36
Precio campo grano maíz \$/Tm.	125.7	125.7	125.7	125.7
Precio campo grano leguminosa \$/Tm.	0	0	0	0
Beneficio bruto de campo (\$/ha.)	44.0	55.3	54.1	45.3
Costo semilla leguminosa (\$/ha.)		0	0	0
Costo mano obra siembra (\$/ha.)		0	0	0
Costo 2do control malezas (\$/ha.)	0	0	0	0
Total costo que varia \$/ha.	0	0	0	0
Beneficios netos \$/ha	44.0	55.3	54.1	45.3

<i>C) Análisis marginal actualizado</i>				
	Monoc	Mucuna	Canav	Vigna
TCV actualizados	18	14.89	15.91	22.2
BN actualizados	209.3	117.1	113.7	113.2

Tratamientos	TCVA	BNA	TMR
Mucuna	14.89	117.1	
Canav	15.91	113.7	D
Monoc.	18	209.3	29.6
Vigna	22.2	113.2	D

Cuadro 2. Presupuesto parcial y análisis incremental del experimento de leguminosas intercaladas en Cuyuta, 1989-1990.

<i>A) Ciclo inicial 1989</i>				
	Monoc.	Mucuna	Canav	Vigna
Rendimiento grano maíz (Tm/ha.)	6.28	4.79	5.7	5.89
Rendimiento grano leguminosa (Tm/ha.)	0	0	0	0.36
Precio campo grano maíz \$/Tm.	136.7	136.7	136.7	136.7
Precio campo grano leguminosa \$/Tm.	0	0	0	0
Beneficio bruto de campo (\$/ha.)	858.7	655.0	779.4	805.4
Costo semilla leguminosa (\$/ha.)		2.89	3.91	10.2
Costo mano obra siembra (\$/ha.)		12	12	12
Costo 2do control malezas (\$/ha.)	18	0	0	0
Total costo que varia \$/ha.	18	14.89	15.91	22.2
Beneficios netos \$/ha.	840.7	640.1	763.5	783.2

<i>B) Ciclo residual 1990</i>				
	Monoc	Mucuna	Canav	Vigna
Rendimiento grano maíz (Tm/ha.)	0.86	2.23	1.45	0.79
Rendimiento grano leguminosa (Tm/ha.)	0	0	0	0
Precio campo grano maíz \$/Tm.	136.7	136.7	136.7	136.7
Precio campo grano leguminosa \$/Tm.	0	0	0	0
Beneficio bruto de campo (\$/ha.)	117.6	304.9	198.3	108.0
Costo semilla leguminosa (\$/ha.)		0	0	0
Costo mano obra siembra (\$/ha.)		0	0	0
Costo 2do control malezas (\$/ha.)	0	0	0	0
Total costo que varia \$/ha.	0	0	0	0
Beneficios netos \$/ha.	117.6	304.9	198.3	108.0

<i>C) Análisis marginal actualizado</i>				
<i>C-1) Tasa de descuento de 5%</i>				
	Monoc.	Mucuna	Canav	Vigna
TCV actualizados	18	14.89	15.91	22.2
BN actualizados	952.695	930.476	952.311	886.052
	6	8	3	8

Tratamientos	TCVA	BNA	TMR
Mucuna	14.89	930.5	
Canav	15.91	952.3	21.4
Monoc.	18	952.7	0.19
Vigna	22.2	886	D

REFERENCIAS

Cuadro 2. Continuación.

C-2) Tasa de descuento de 10%

	Monoc	Mucuna	Canav .	Vigna
TCV actualizados	18	14.89	15.91	22.2
BN actualizados	212.3	120.9	117.4	116.3
Tratamientos		BNA		TMR
Maíz-Mucuna		14.89	120.9	
Maíz-Canavalia		15.91	117.4	D
Maíz-monocultivo		18	212.3	29.4
Maíz-Vigna		22.2	116.3	

Aunque el patrón temporal de costos y beneficios es similar al caso anterior, la magnitud de estos efectos es diferente con efectos residuales más fuertes en este caso que llevan a que el tratamiento con *Canavalia* sea más rentable a una tasa de descuento de 5% mientras que el maíz en monocultivo lo es a la tasa de 10%. Este último resultado resalta la importancia de la selección de una tasa de descuento adecuada para la evaluación económica de alternativas tecnológicas que involucren conservación de recursos naturales.

CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D F., México: CIMMYT.

Francis, C. A. 1989. Biological efficiencies in multiple cropping systems. *Adv. Agron.* 42:324-345.

Mello F. 1978. N fixation by some legumes. *Revista de Agricultura, Piracicaba, Brasil.* Vol. 53 (1/2):12-25.

Sain G., E. Borbón, H. Barreto, y W. Raun. 1991. Análisis económico de los resultados experimentales cuando las consecuencias se extienden más de un período. Trabajo presentado en la XXXVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA). Panamá, marzo, 1991.

Análisis Económico a la Aplicación de Nitrógeno en Maíz en Rotación Con Leguminosas bajo dos Tipos de Labranza, Río Hato, Panamá, 1992-93

A.P. de Herrera¹, R. Gordón², J. Franco², N. de Gracia², L. Martínez², A. González² y G. Sain³

RESUMEN

Se realizó un experimento para evaluar la respuesta del maíz a tres dosis de nitrógeno (0, 75 y 150 kg N/ha), bajo tres sistemas de siembra en rotación del maíz con las leguminosas *Canavalia ensiformis* y *Stizolobium deeringianum* (*Mucuna*), además de una siembra sin leguminosas. También se evaluaron dos tipos de labranza; uno consistió en incorporar las leguminosas y malezas antes de la siembra y el otro en dejarlas sobre la superficie del suelo. Se efectuó un análisis económico continuo a través de una función de respuesta cuadrática del rendimiento a la aplicación de diferente dosis de N, incorporando tres variables "dummy" para medir los efectos de la mucuna y canavalia (d1 y d2) y del tipo de labranza (d3). El modelo general propuesto fue el siguiente: $Y = \beta_0 + \beta_1N + \beta_2N^2 + \beta_3D_1 + \beta_4D_2 + \beta_5D_3 + \beta_6D_1N + \beta_7D_2N + \beta_8D_3N + \beta_9D_1N^2 + \beta_{10}D_2N^2 + \beta_{11}D_3N^2$. No se encontraron diferencias significativas entre la interacción lineal y cuadrática del tipo de labranza con las dosis de N así como las interacciones cuadráticas del tipo de leguminosas y los niveles de N. Reemplazando los valores de los parámetros estimados y reduciendo el modelo de acuerdo a lo anterior, se obtuvo el siguiente modelo: $Y = 1357.97 + 20.90N - 0.06N^2 + 995.67D_1 + 2611.42D_2 - 233.00D_3 - 1.91D_1N - 10.13D_2N$. De este modelo se obtuvieron seis funciones que explican las respuesta del nitrógeno con los diferentes tipos de leguminosas y bajo los dos tipos de labranzas, permitiendo estimar así los óptimos económicos. En la siembra del maíz sin rotación de leguminosas el óptimo ascendió a 139 kg de N/ha en tanto que para la rotación con mucuna y canavalia el mismo fue de 123 y 54 kg de N/ha, respectivamente. Esto representó un ahorro de 85 kg de N/ha entre las siembras con canavalia vs sin leguminosas. Esto se reflejó en un incremento de B/316.49 en los beneficios netos asociados con la alternativa de aplicar N en rotación con canavalia sin incorporar, respecto a la alternativa de no rotar con leguminosas.

La utilización de las leguminosas como abonos verdes es una práctica que se realiza desde hace años y es objeto de investigación por parte del Programa Regional de Maíz, a nivel de centroamérica y el Caribe. En Panamá, Gordón *et al.* (1992), realizó un experimento para evaluar la respuesta del maíz a tres dosis de nitrógeno (0, 75 y 150 Kg N/ha), bajo tres sistemas de siembras, en rotación del maíz con las leguminosas *Canavalia ensiformis* y *Stizolobium deeringianum* (*mucuna*), además de una siembra sin leguminosas. Las leguminosas fueron sembradas al

inicio de la época lluviosa (mayo/1992) y el maíz en septiembre del mismo año. También se evaluaron dos tipos de labranza, uno consistió en incorporar las leguminosas y malezas antes de la siembra y el otro en dejarlas sobre la superficie del suelo. Se utilizó un diseño de parcelas sub-sub-divididas (leguminosas / labranza / N) en bloques al azar con tres repeticiones. A partir de este experimento se planteó como objetivo general, evaluar el aporte económico de incorporar las leguminosas en rotación con el maíz, y como específicos los siguientes: determinar las dosis óptimas económicas de N aplicadas al maíz en rotación con leguminosas, en comparación con el sistema tradicional del productor, y estimar los beneficios netos asociados con esta alternativa.

MATERIALES Y METODOS

La metodología utilizada consistió en un análisis económico continuo a través de una función de respuesta cuadrática del rendimiento del maíz a la aplicación de diferentes dosis de N, incorporando tres variables dummy para medir los efectos de la mucuna y canavalia (d1 y d2) y del tipo de labranza (d3). La variable d1 toma el valor de 1 para la rotación con mucuna y de 0 para sin mucuna; la d2 es igual a 1 para la rotación con canavalia y 0 sin canavalia; y d3 es igual a 1 para la incorporación de las leguminosas y malezas, en tanto que es 0 para la no incorporación. El modelo general propuesto fue el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1N + \beta_2N^2 + \beta_3D_1 + \beta_4D_2 + \beta_5D_3 + \beta_6D_1N + \beta_7D_2N + \beta_8D_3N + \beta_9D_1N^2 + \beta_{10}D_2N^2 + \beta_{11}D_3N^2$$

Para el cálculo de los óptimos económicos se utilizó la siguiente fórmula (Byerlee y Harrington, 1981; Jauregui y Sain, 1991):

$$N = \frac{m - \beta_1}{2\beta_2}$$

donde N corresponde a la cantidad de nitrógeno/ha óptima; m es la relación de precios de nitrógeno a precios a precios del maíz y se obtiene a través de la

¹Economista, IDIAP, Azuero, Panamá. ²Investigadores de Maíz, IDIAP, Azuero, Panamá. ³ Economista, CIMMYT, Costa Rica.

siguiente fórmula:

$$m = \frac{(p_n + CA)(1+R)}{p_0 (1-a)}$$

donde $(p_n + CA)$ es el precio de mercado del nitrógeno más el costo de aplicación; R es la tasa mínima de retorno de los productores durante el ciclo del cultivo; p_0 es el precio de campo del maíz y a es un porcentaje de ajuste de los redimientos. Se utilizó como precios promedios tanto para N (incluyendo su costo de aplicación) como para el del maíz, el correspondiente al promedio del período 1982-91, de B/ 0.73/kg y B/ 0.20/kg, respectivamente; y una tasa mínima de retorno por el ciclo del cultivo de 15%. Los beneficios netos fueron estimados utilizando la siguiente fórmula:

$$BN = p_0Y - p_nN$$

donde Y es la función de respuesta del maíz a la aplicación de N.

RESULTADOS Y DISCUSION

Del modelo de regresión propuesto se obtuvo una respuesta altamente significativa por el efecto residual de las leguminosas, a la aplicación de N, así como a la interacción leguminosas por dosis. Con relación a la respuesta del tipo de labranza se encontró diferencia significativa al 10% de probabilidad. No se encontraron diferencias significativas entre la interacción lineal y cuadrática del tipo de labranza con las dosis de N, así como las interacciones cuadráticas del tipo de leguminosas y los niveles de N, (Cuadro 1). Esto redujo el modelo propuesto al siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1N + \beta_2N^2 + \beta_3D_1 + \beta_4D_2 + \beta_5D_3 + \beta_6D_1N + \beta_7D_2N$$

Reemplazando los valores de los parámetros estimados se obtuvo el siguiente modelo general:

$$Y = 1357.97 + 20.90N - 0.06N^2 + 995.67D_1 + 2611.42D_2 - 233.00D_3 - 1.91D_1N - 10.13D_2N$$

donde las unidades de rendimiento y N están en kg/ha. El R^2 ajustado obtenido fue de 0.95 y el cuadrado medio del error fue de 0.23 ton/ha.

Cuadro 1. Estimación de parámetros y nivel de significancia en la evaluación de la respuesta del maíz a la aplicación de N en rotación con leguminosas, Río Hato, Panamá, 1992-93.

Variable	Parámetro Estimado	Nivel de Significancia
Intercepto	1.35797	0.0001
N	0.02089	0.0001
N ²	-0.00006	0.0149
D ₁	0.99566	0.0008
D ₂	2.61141	0.0001
D ₃	-0.23300	0.0593
D ₁ N	-0.00190	0.4045
D ₂ N	-0.01013	0.0009

Del modelo general se obtuvieron 6 funciones que explican la respuesta de N con los diferentes tipos de leguminosas y bajo los dos tipos de labranza, y las cuales fueron utilizadas para el cálculo de las dosis óptimas.

1. Función de respuesta sin leguminosa y sin incorporación de las malezas:

$$Y_1 = 1,357.97 + 20.90N - 0.06N^2$$

2. Función de respuesta sin leguminosa y con incorporación de las malezas:

$$Y_2 = 1,124.97 + 20.90N - 0.06N^2$$

3. Función de respuesta con mucuna y sin incorporación de la mucuna y malezas:

$$Y_3 = 2,353.64 + 18.99N - 0.06N^2$$

4. Función de respuesta con mucuna y con incorporación de la mucuna y malezas:

$$Y_4 = 2,120.64 + 18.99N - 0.06N^2$$

5. Función de respuesta con canavalia y sin incorporación de la canavalia y malezas:

$$Y_5 = 3,969.39 + 10.77N - 0.06N^2$$

6. Función de respuesta con canavalia y con incorporación de la canavalia y malezas:

$$Y_6 = 3,736.39 + 10.77N - 0.06N^2$$

Se obtuvo que las dosis óptimas económicas de aplicación de N para la siembra del maíz sin rotación

de leguminosas ascendió a 139 kg/ha de N; en tanto que, para la rotación con mucuna y canavalia la misma ascendió a 123 y 54 kg/ha de N, respectivamente. Esto implica que, la práctica de rotación del maíz con canavalia representó un ahorro de 85 kg de N/ha, versus la siembra sin leguminosas. Esto se reflejó en un incremento de B/ 316.49 en los beneficios netos (Cuadro 2) asociados con la alternativa de utilizar la canavalia en rotación con el maíz. A pesar de que la aplicación de N no interactuó con el tipo de labranza y por tanto no modifica los óptimos económicos; no obstante, los beneficios netos aumentaron entre un 6 y un 10% sin incorporar los residuos vegetales (leguminosas y/o malezas), respecto a incorporarlas en la alternativa de utilizar la canavalia en rotación con el maíz.

Dado que las dosis óptimas dependen de las relaciones de precios entre el precio de N y del maíz, se efectuó un análisis de sensibilidad considerando inicialmente un incremento y luego una reducción en el precio del maíz correspondiente a un 25 y 50% sobre el precio promedio considerado en el estudio. Un incremento en el precio del maíz implica que el N se hace más barato respecto al maíz y una reducción significa lo contrario. Los cambios en las relaciones de precios modificaron los óptimos económicos calculados (Cuadro 3), obteniéndose (a medida que la relación de precios de N al de maíz aumenta), un rango de variabilidad del óptimo económico desde 66 hasta 20 kg/ha de N utilizando la canavalia en rotación, respecto al rango de 151 hasta 104 kg/ha de N cuando no se utiliza leguminosa. El análisis de sensibilidad demuestra que, ha medida que la relación de precios aumenta, es mayor el aporte relativo de N de la canavalia para alcanzar el máximo beneficio respecto a las dosis óptimas sin leguminosas (56% versus 81%, de un cambio en la relación de precios de 2.80 a 8.40, Cuadro 3). La utilización de la canavalia en rotación, además de mejorar la rentabilidad del sistema, mejora su sostenibilidad al reducir la dependencia del sistema de insumos externos cuyos precios relativos a los del maíz han mostrado una tendencia a incrementarse en los últimos años.

CONCLUSIONES

La siembra del maíz en rotación con leguminosas (principalmente canavalia) reduce significativamente las dosis óptimas de fertilizante nitrogenado, representando un ahorro de 85 kg/ha de N entre la siembra con canavalia versus sin leguminosas, y un incremento significativo en los beneficios netos de B/316/ha.

Cuadro 2. Beneficios netos de la respuesta del maíz a la aplicación de N en rotación con leguminosas, bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1992-93.

Tipo de Leguminosa	Tipo de Labranza	Beneficios Netos B/ha
Sin leguminosa	Incorporada	472.69
Sin leguminosa	Sin incorporar	519.29
Mucuna	Incorporada	619.94
Mucuna	Sin incorporar	666.54
Canavalia	Incorporada	789.18
Canavalia	Sin incorporar	835.78

Cuadro 3. Análisis de sensibilidad de las dosis óptimas de N ante cambios en las relaciones de precios.

Relaciones entre precios	Dosis óptima de N kg/ha		
	Sin legum	Mucuna	Canavalia
2.80	151	135	66
3.36	146	130	62
4.27	139	123	54
5.60	128	112	43
8.40	104	88	20

Frente a la tendencia de incrementar los precios de los fertilizantes relativos a los del maíz, la alternativa de incorporar leguminosas representa un mayor aporte de nitrógeno al sistema respecto a menores precios relativos de los fertilizantes, permitiendo mayor sostenibilidad al sistema de producción de maíz.

REFERENCIAS

- Byerlee, D. and L. Harrington. 1981. Deriving optimum fertilizer levels: the naive economist versus the practical farmer. CIMMYT Economics Program Training Note. Mexico.
- Gordón, R., J. Franco, N. De Gracia, L. Martínez, A. González, A. de Herrera. 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.
- Jauregui, M. y G. Sain. 1991. Continuous economic analysis of crop response to fertilizers in on-farm research. CIMMYT economics paper No. 3. México, D.F. México.

Evaluación Económica de Uso de Rastrojo de Maíz en Asocio con *Canavalia ensiformis*, Azuero, Panamá, 1992-1993

A. de Herrera¹, D. Herrera², R. Gordón² y G. Sain³

RESUMEN

Durante los últimos años el Programa Regional de Maíz (PRM) viene impulsando el asocio de leguminosas de cobertura en el cultivo de maíz. En la región de Azuero se produce una parte importante de la producción de maíz del país. Este estudio examina la respuesta económica de intercalar canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) con maíz para uso del rastrojo en alimentación animal como pastoreo. Se sembraron 2 ha de maíz, la mitad en monocultivo y la otra mitad en asocio con canavalia en la estación experimental de El Ejido, Azuero. Los resultados indican que es rentable asociar canavalia con maíz en Azuero cuando se considera el uso del rastrojo de maíz para la alimentación animal cuando suplementado por rastrojo de canavalia. El costo de oportunidad para el agricultor que alimenta su ganado en la época seca con rastrojo de maíz se ve aumentado con la inserción de canavalia con maíz. En conclusión, en la región de Azuero, es rentable insertar la canavalia dentro de los sistemas de producción de maíz.

Durante los últimos años el Programa Regional de Maíz (PRM) a través del IDIAP, ha venido desarrollando investigaciones en el cultivo de maíz en asocio con leguminosas, con el propósito de mejorar la estructura y cobertura del suelo, aprovechar la capacidad de las leguminosas en la fijación de nitrógeno, reducir la incidencia de las malezas, e incrementar la producción y calidad del forraje.

La región de Azuero concentra parte importante (aproximadamente 50%) de la producción nacional de maíz que entra a los canales de comercialización, y es también una de las áreas ganaderas importantes del país. Esta región se caracteriza por un intenso período de sequía que se extiende desde diciembre hasta abril, durante el cual una de las principales y más económicas fuentes de alimentación para el ganado la constituye el rastrojo de maíz. Generalmente el productor de maíz es también ganadero, y cuando no lo es, tiene la alternativa de alquilar su parcela de rastrojo de maíz, ya que existe un mercado bien definido de compra-venta de rastrojo en el área.

La alternativa de asocio de las leguminosas con el maíz, además de las ventajas arriba señaladas, a corto plazo tiene el efecto de reducir el rendimiento de maíz por efecto de la competencia por nutrientes, agua y luz, e implica costos adicionales por siembra de la leguminosa. No obstante, el asocio del maíz con una leguminosa como alternativa para incrementar y mejorar la calidad del forraje produce beneficios a corto plazo que no han sido medidos. En efecto se desconoce el potencial de producción de carne del rastrojo de maíz mejorado con la incorporación de una leguminosa, así como los beneficios económicos que esto representa para el sistema de producción maíz-ganadería.

En la época 1992-93 se efectuó un estudio de evaluación bioeconómica del uso del rastrojo de maíz en asocio con la leguminosa *Canavalia ensiformis*, en la finca experimental de El Ejido, Los Santos, Panamá.

El objetivo general de la investigación fue evaluar los beneficios y costos asociados con la alternativa de asociar el maíz con canavalia versus la siembra del maíz en monocultivo. Los objetivos específicos fueron: determinar el potencial de producción de carne del rastrojo de maíz cultivado solo o en asocio con la canavalia; y determinar los beneficios económicos generados por la utilización del rastrojo de maíz en asocio con la canavalia en la alimentación animal durante la época seca.

MATERIALES Y METODOS

Protocolo Experimental

Se sembró una parcela de maíz de aproximadamente 2.0 ha en la cual a una hectárea se le intercaló en surcos alternos la leguminosa *Canavalia ensiformis* de uno a tres días después de la siembra del maíz; y en el resto de la parcela se sembró el maíz en monocultivo. La canavalia fue sembrada en surcos alternos al del maíz, a 0.5 m entre plantas y una semilla por golpe. Para el uso del rastrojo en la alimentación animal se utilizó un diseño completamente al azar, con 3 repeticiones y cuatro tratamientos: rastrojo de maíz solo; rastrojo de maíz solo más un suplemento; rastrojo

¹Lic., M.Sc., Economista, ² Ing. Agrónomo M.Sc., del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro Regional Agropecuario de Azuero y ³ Economista Regional, CIMMYT, Costa Rica.

de maíz asociado con canavalia y rastrojo de maíz asociado con canavalia más un suplemento. La composición del suplemento consistió en 75% de melurea y 25% de grano de canavalia, suministrado a un nivel de 1.5 kg por animal/día. Cada repetición estuvo integrada por un animal (novilla cruzada con un peso promedio de 206.8 kg) manejado en corrales individuales. El período de evaluación correspondió a 70 días. Una mayor explicación del manejo experimental del ganado puede encontrarse en Herrera *et al.* (1993).

Evaluación Económica

La metodología utilizada en la evaluación económica consistió en el presupuesto parcial y análisis marginal (CIMMYT, 1988). Siguiendo esta metodología se analizaron todos los beneficios y costos variables vinculados con la alternativa de asociar el maíz con canavalia en comparación con el maíz en monocultivo. En la evaluación económica sólo se consideraron estos dos tratamientos, atendiendo a los objetivos del presente estudio.

Como parte de los beneficios brutos se incluyeron dos aspectos: el valor de la producción de maíz en grano (que incluye el efecto de incorporar la leguminosa), y el valor del rastrojo. El valor de la producción de maíz se obtuvo al multiplicar el precio de campo del maíz (precio de venta menos costos proporcionales al rendimiento o cosecha) por el rendimiento ajustado obtenido. El valor del rastrojo se obtuvo de la siguiente manera. Se estimó el precio sombra o costo de oportunidad de una tonelada de rastrojo de maíz más canavalia, como el valor del incremento en kilogramos de carne que puede obtenerse al utilizarse el rastrojo durante el período en estudio. Esto puede expresarse a través de la siguiente fórmula:

$$Psr = Pc \frac{\Delta C}{\Delta R}$$

donde;

Psr, es el costo de oportunidad de una tonelada de rastrojo de maíz más canavalia; Pc, es el precio de mercado que recibe el productor por un kg de carne; $\Delta C/\Delta R$ es el aumento en kilogramo de carne que provee cada tonelada de rastrojo de maíz más canavalia.

En el caso del rastrojo de maíz solo, se tomó como referencia el precio por hectárea de mercado del mismo. Respecto a los costos variables se consideraron, además de la reducción del rendimiento de maíz

(medido en la sección de beneficios brutos del presupuesto parcial), los costos de semilla y de la siembra de la canavalia, como únicos costos adicionales.

RESULTADOS Y DISCUSION

La alternativa de asociar el maíz con la canavalia, reduce el rendimiento de maíz, pero implica también el aumento de la calidad y cantidad del forraje que se utiliza en la alimentación del ganado, además de las otras ventajas vinculadas con el uso de leguminosas. Esto implica que para evaluar a corto plazo la rentabilidad del sistema de la producción de maíz en asocio con canavalia, utilizando el forraje mejorado en la alimentación del ganado, debe considerarse el sistema integralmente. Es decir, evaluando por un lado, los ingresos tanto del maíz como del forraje, y los costos asociados con la incorporación de la leguminosa.

Los Costos de Asociar el Maíz con la Canavalia.

En Azuero, se han efectuado evaluaciones para determinar épocas y el arreglo espacial maíz-canavalia que reduzca en menor grado los rendimientos del maíz y tenga mayores posibilidades de adopción por parte de los productores (Gordón *et al.*, 1993) En este sentido, los resultados obtenidos del presente estudio demostraron que la siembra de la canavalia en surcos alternos al maíz, redujo los rendimientos de maíz en 0.23 t/ha, esto es aproximadamente B/.43.70/ha (Cuadro 2), lo que representa a su vez el principal costo de incorporar la leguminosa al sistema (aunque está considerado en la sección de beneficios brutos del presupuesto parcial). Los otros costos asociados con la introducción de la canavalia, y los cuales corresponden a los costos que varían en el presupuesto parcial, son los costos de la semilla de la canavalia, y dos jornales/ha requeridos para la siembra de la leguminosa. No existe un mercado definido para la venta de semilla de la canavalia; no obstante, se tomó el precio de venta de la semilla por parte de IDIAP.

El Precio del Mercado y el Costo de Oportunidad del Uso del Rastrojo.

En Azuero el rastrojo de maíz se utiliza en la alimentación del ganado en la época seca y aunque es una práctica que no permite el mantenimiento del ganado, ya que se encontró en el estudio que los mismos perdieron peso; no obstante, es la alternativa más accesible y más barata, en comparación con alternativas de suplementación alimenticia.

Cuadro 1. Base de datos necesaria para la elaboración del presupuesto parcial.

Descripción	Maíz Solo	Maíz + Canavalia
1. Rend. maíz en grano (kg/ha)	3,640	3,410
2. Rend. rastrojo (kg/ha)	4,910	6,350
- Rend. rastrojo maíz	4,910	3,600
- Rend. rastrojo canavalia	--	2,750
3. Composición porcentual del forraje		
- Rastrojo de maíz	100%	56.69%
- Rastrojo de canavalia	--	43.31%
4. % de rechazo del forraje ofrecido	25%	25%
5. Forraje total consumible (kg/ha)	3,682.5	4,762.5
6. Consumo rastrojo (kg/MS/An/día)	3.330	4.387
7. Cambio de peso (kg/An/día)	-0.134	0.090
8. Capacidad carga (No. An/ha en 1 día)	1,105.8	1,085.6
9. Capacidad carga (No. An/ha/70 días)	15.8	15.5
10. Cambio de peso (kg/ha)	-148.18	97.70
11. Incremento carne por uso rastrojo mejorado (kg de carne/ha)	--	245.88
12. Incremento carne por uso rastrojo mejorado (kg de carne/ forraje)	--	38.72
13. Precio de campo del maíz (B./kg)	0.19	0.19
14. Precio mercado de una ha de rastrojo de maíz solo (B./ha)	50.00	
15. Precio de un kg de carne (hembra)	0.88	0.88
16. Costo de oportunidad de una tonelada de rastrojo de maíz más canavalia	--	34.07

Los animales alimentados con rastrojo de maíz solo, registraron un consumo de materia seca por animal por día de 3.33 kg, y una pérdida de peso de 134 gramos por animal por día. Relacionando el forraje total consumible/ha (rendimiento de rastrojo/ha menos el rechazo del forraje ofrecido) con el consumo por animal, para obtener la capacidad de carga/ha, y el cambio de peso del animal por día, se obtuvo una pérdida de peso por ha de 148.18 kg (Cuadro 1).

Hay un mercado bien establecido de compra venta del rastrojo de maíz, cuyo precio/ha asciende a B/.50.00, lo que equivale a B/. 10.18 por

tonelada tomando en consideración el rendimiento de rastrojo de maíz obtenido en el estudio de 4.91 t/ha.

La alternativa de asociar el maíz con canavalia aumentó la producción total de forraje respecto al cultivo de maíz solo, ascendiendo a 6.35 t/ha. Los animales alimentados con rastrojo de maíz más canavalia registraron ganancias de peso de 90 gramos por animal por día, explicado principalmente por el mayor consumo de materia seca (4.39 kg de MS/animal/día) y por ende consumo total de nutrientes digestibles, respecto a los animales alimentados con rastrojo solo (Cuadro 1).

La relación del forraje total consumible de 4.76 t/ha, con el consumo de rastrojo por animal, permitió obtener la capacidad de carga/ha en un día (1,085.6 animales) y determinar la ganancia de peso total/ha de 97.7 kg/ha, Cuadro 1.

El uso del rastrojo de maíz mejorado con canavalia implicó un incremento de 245 kg de carne/ha respecto al uso de rastrojo solo (diferencia absoluta entre la ganancia de peso por el uso de rastrojo mejorado y la pérdida de peso por la utilización de rastrojo de maíz solo) (Cuadro 1). El incremento de carne/tonelada de rastrojo mejorado fue de 38.7 kg, lo que valorado al precio de B/.0.88/kg de carne asciende a B/.34.07 (Cuadro 2). Este valor corresponde al costo de oportunidad de una tonelada de rastrojo mejorado, medido a través del valor del incremento de carne por el uso de dicho rastrojo. La diferencia entre este costo de oportunidad y el precio de mercado de una tonelada de rastrojo de maíz solo, que equivale a B/.23.89, y puede ser un indicador del precio o costo de oportunidad de una tonelada de canavalia, ya que representa el aporte de la canavalia al incremento de carne obtenida del uso del rastrojo mejorado.

Los Beneficios Netos y el Análisis Marginal.

El Cuadro 2 presenta el presupuesto parcial, que asocia los beneficios y costos, de la alternativa de utilización del rastrojo de maíz en asocio con canavalia versus el maíz en monocultivo. La sumatoria de los beneficios brutos totales (valor del grano más el valor del rastrojo) ascendió a B/.864.25 en la alternativa de maíz más canavalia, esto es, un incremento de 16.5% respecto al cultivo de maíz solo. Los beneficios netos obtenidos para la alternativa del maíz en asocio versus el maíz en monocultivo fue de B/.843.25 y B/.741.60, respectivamente.

Cuadro 2. Presupuesto parcial por hectárea en la evaluación del uso de rastrojo de maíz en asocio con *Canavalia ensiformis*, Panamá, 1992-1993.

Descripción	Tratamientos	
	Maíz Solo	Maíz + Canavalia
1. Beneficios brutos (B./ha)		
1.1. Beneficios brutos del maíz	691.60	647.90
Rend. maíz	3.640	3.410
Precio de una tonelada de maíz	190.00	190.00
1.2. Beneficios brutos del rastrojo	50.00	216.35
Rend. rastrojo	4.910	6.350
Precio de una tonelada rastrojo	10.18	34.07
Beneficios brutos totales/ha	741.60	864.25
2. Costos variables (B./ha)		
2.1. Semilla Canavalia 30 lb/ha (B./0.30/lb)	--	9.00
2.2. Siembra Canavalia 2 jornales (B./6.00/jornal)	--	12.00
Costos variables totales/ha	0	21.00
3. Beneficios netos totales (B./ha)	741.60	843.25

Lo anterior implica que los beneficios obtenidos a través del incremento de carne por el uso del rastrojo mejorado superan ampliamente los costos que a corto plazo implica la incorporación de la canavalia al cultivo de maíz. Esto se refleja también en la alta tasa marginal de retorno, 484%, obtenida al cambiar la alternativa de maíz en monocultivo por la de asocio del

maíz con canavalia (Cuadro 3). Esta tasa está muy por encima de la tasa mínima de retorno estimada para los productores de la región de Azuero.

Se evaluó también (Herrera *et al.*, 1993) los efectos de la suplementación de los rastrojos de maíz (solo y asocio con canavalia), encontrándose que la utilización del rastrojo de maíz solo suplementado fue una alternativa dominada económicamente por las alternativas del uso de rastrojo de maíz más canavalia con y sin suplementación. Ambas alternativas son rentables, y la suplementación del rastrojo de maíz más canavalia reportó los mayores beneficios netos y una tasa marginal de retorno de 131%, respecto al uso del rastrojo de maíz más canavalia, básicamente porque se utilizó como fuente proteínica el grano de canavalia que produce el mismo sistema.

Se efectuó un análisis de sensibilidad, considerando alzas y bajas en los precios de la carne de 15 y 30%. Un incremento del 30% respecto al precio/kg de carne de hembra (utilizada en el estudio), corresponde muy cercanamente al precio actual de un kg de carne de macho. El Cuadro 4 presenta la variación en beneficios netos y en la tasa marginal de retorno al efectuar cambios en los precios, encontrándose un rango que oscila desde B/. 779.00 hasta B/.907.00/ha. Se observa que aún con disminuciones del 30% en el precio de la carne, se obtiene una alta tasa de marginal de retorno (180%) al utilizar la alternativa de asociar el maíz con canavalia versus el cultivo de maíz en monocultivo.

La evaluación económica ha demostrado que es rentable la alternativa de asociar el maíz con canavalia, sobre la base de que el costo de oportunidad (a través del valor del incremento de carne) de utilizar el rastrojo mejorado en la alimentación del ganado es alta, respecto a la práctica actual del ganadero de utilizar el rastrojo de maíz solo, que no permite ni siquiera el mantenimiento del animal.

Cuadro 3. Análisis marginal en la evaluación del uso de rastrojo de maíz en asocio con *Canavalia ensiformis*, Panamá, 1992-1993.

Descripción de tratamientos	Cuotas variables (B./ha)	Beneficios netos (B./ha)	Δ en costos variables	Δ en beneficios netos	TMR (%)
1. Maíz solo	0	741.60	--	--	--
2. Maíz + canavalia	21	843.25	21	101.65	484

Cuadro 4. Beneficios netos y tasa marginal de retorno (TMR), ante variaciones en el precio de la carne, en el uso de rastrojo de maíz en asocio con *Canavalia ensiformis*.

B./kg de Carne	Beneficios Netos B./ha	TMR %
0.62	779.36	180
0.75	811.30	332
0.88	843.25	484
1.01	875.25	636
1.14	907.19	789

Esta rentabilidad del sistema a corto plazo tiene implicaciones importantes a nivel de las posibilidades de adopción de la utilización de la canavalia con propósitos de conservación del suelo. Del porcentaje de rechazo (25%) del consumo ofrecido obtenido del estudio, se infiere que el ganado deja aproximadamente 1.2 toneladas de rastrojo de maíz solo en el campo, antes de la siembra, lo que implica una cobertura del suelo aproximadamente de 20%. Esta cantidad de rastrojo después que el ganado sale del campo, coincide con los resultados obtenidos a nivel de un sondeo realizado a productores recientemente en la región de Azuero. En este sistema de asocio de maíz más canavalia y la utilización del rastrojo en la alimentación animal, los beneficios de la siembra de la canavalia sobre la conservación del suelo, serían limitados básicamente al período de cultivo del maíz. Por otro lado, la mayor producción de forraje respecto al maíz en monocultivo, no garantiza una mayor cobertura antes de la siembra, ya que la misma dependerá de la presión de pastoreo que imponga el ganadero.

Del estudio se obtuvo que la carga animal/ha durante el período de 70 días (que puede ser representativo para el período más crítico de sequía en el área) fue de 15.8 y 15.7 animales (de 206.8 kg de peso) para el sistema de cultivo de maíz en monocultivo y maíz más canavalia, respectivamente. A pesar de que el maíz asociado con canavalia aumentó significativamente la producción de rastrojo, la carga animal fue similar a la del rastrojo de maíz solo, explicado por el mayor consumo por animal alimentado con rastrojo mejorado. No obstante, a pesar de que la carga animal fue similar en los dos sistemas, los beneficios económicos para la región de Azuero al utilizar la práctica del asocio del maíz con canavalia pueden estimarse de la siguiente manera. Extrapolando el incremento de beneficios netos/ha, de B/.101.65, que implica la utilización del rastrojo de maíz con canavalia respecto al uso de rastrojo de maíz solo, por las

aproximadamente 12,000 ha comerciales de maíz sembradas en el último ciclo agrícola en la región de Azuero, se tiene un incremento total de B/.1,219,000.00, respecto a la práctica actual de utilizar el rastrojo de maíz solo.

Los beneficios totales para la región de Azuero, son mayores que los estimados, ya que las cifras de superficie sembrada de maíz utilizadas excluye la producción que no entra a los canales de comercialización (y de los cuales no se tienen registros adecuados) y que también es utilizada en la alimentación del ganado durante la época seca.

CONCLUSIONES

1. La alternativa de asociar el maíz con canavalia resulta económicamente rentable para los agricultores en la región de Azuero en Panamá, cuando se considera el uso del rastrojo mejorado con canavalia para la alimentación animal con respecto al rastrojo de maíz solo.
2. Una consecuencia de esta alta rentabilidad para el potencial de la adopción de la labranza de conservación es que se incrementa significativamente el costo de oportunidad de la tonelada de rastrojo usado como mantillo para proteger el suelo. Es decir, que resulta más costoso para el agricultor dejar en el suelo un mantillo enriquecido con canavalia que un mantillo compuesto de maíz solo.
3. Esta alza en el costo de oportunidad de usar rastrojo enriquecido como mantillo debe pesarse con respecto a los efectos residuales del mantillo sobre el cultivo siguiente. Por ejemplo, el trabajo de Pereira *et al.*, 1993, muestra que la rotación con canavalia reduce significativamente las dosis de fertilizante nitrogenado en 85 kg/ha en el cultivo de maíz del ciclo siguiente. Esta reducción incrementa los beneficios netos en B/.316.00/ha.
4. La siembra del maíz en asocio con la canavalia aumenta la rentabilidad del sistema de producción maíz-ganadería.

REFERENCIAS

- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1988. „La formulación de recomendaciones a partir de datos agrónomicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F. México: CIMMYT. p. 79.

Gordón M., R.; N. De Gracia; J. Franco; A. González.; y J. Bolaños. 1992-93. Efecto del asocio canavalia-maíz a distintas épocas y arreglos de siembra en Azuero. Panamá, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Documento mimeografiado. p. 7.

Herrera, D.; A. Pereira de Herrera; B. Guerrero.; O. Vergara y R. Gordón. 1992-93. Evaluación bioeconómica del uso de rastrojo de maíz en asocio con *Canavalia ensiformis*, Azuero. Panamá, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Documento mimeografiado. p. 10.

Pereira de Herrera, A.; R. Gordón; J. Franco; N De Gracia; L. Martínez; A. González y G. Sain. 1992-93. Análisis económico de la respuesta del maíz a la aplicación de nitrógeno en rotación con leguminosas bajo dos tipos de labranza. Río Hato, Panamá. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Documento mimeografiado.

Sain, G.; E. Borbón; H. Barreto y J. Bolaños. Análisis económico de los experimentos regionales de leguminosas intercaladas con maíz. Documento mimeografiado. p. 14.

Evaluación Bioeconómica del Uso de Rastrojo de Maíz en Asocio con *Canavalia ensiformis*, Azuero, Panamá, 1992-1993.

D. Herrera¹, A. P. de Herrera², B. Guerrero³, O. Vergara⁴ y R. Gordón¹

RESUMEN

El Programa Regional de Maíz (PRM) viene impulsando el uso de leguminosas de cobertura en asocio con maíz en los sistemas de producción de la región. La mayoría de la producción nacional de maíz de Panamá se concentra en el área de Azuero, donde los agricultores dejan los residuos de las cosechas de maíz para el pastoreo del ganado en la época seca. Este estudio analiza la rentabilidad bioeconómica del uso de rastrojo de canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) con maíz para la alimentación animal. Los resultados indican que el rastrojo de maíz asociado con canavalia mejoró el consumo de forraje y las ganancias en peso en comparación con el maíz solo. El suplemento proteínico de la canavalia incrementó el consumo total de materia seca por el ganado. La evaluación económica mostró que la alternativa de asociar maíz con canavalia y su utilización para pastoreo en la época seca aumentó la rentabilidad del sistema.

El rastrojo de maíz es un residuo de cosecha que se caracteriza por su bajo contenido de proteína cruda bajo y alto contenido de fibra cruda. En la región de Azuero el mismo es utilizado para la alimentación del ganado especialmente durante la época seca. La capacidad productiva de este recurso es muy baja, por lo que su uso como única fuente de alimento debe limitarse a aliviar el hambre del animal o lograr su sobrevivencia temporal. Sin embargo, cuando se complementa con una fuente proteínica, la respuesta animal alcanza niveles de mantenimiento o ligeras ganancias de peso debido a un mayor consumo y utilización de la energía (Ruiloba, 1987).

Una solución a este problema ha sido el uso de suplementos proteínicos a base de fuentes como la urea, gallinaza, harina de pescado, pasta de soya, harina de carne y hueso, entre otras; sin embargo, esta tecnología no se ha adoptado en forma masiva, quizás por razones de costo y manejo. Otra alternativa es el uso de leguminosas, que constituyen una fuente de proteína que se pueden producir en la propia finca.

Son diversos los estudios que muestran las bondades del uso del rastrojo de maíz en asocio con leguminosas (Espinosa, 1983; Sinclair *et al.*, 1992). Al respecto Sinclair y Rush (1987) indican que la siembra de maíz en asocio con leguminosas, incrementa la producción de materia seca y proteína cruda del rastrojo. Por su parte Zea *et al.*, 1991, indican que la *Canavalia ensiformis* presenta características sobresalientes para la siembra intercalada con el maíz por su menor competencia, hábito de crecimiento arbustivo y raíz pivotante profunda. En tanto que Gordón *et al.*, (1993) señalan que la siembra de maíz en asocio con canavalia en surcos alternos constituye una buena alternativa, es decir, poca reducción del rendimiento de maíz (0.18 t/ha) y una adición 2.0 t/ha de materia seca de canavalia. Sin embargo, no se tiene información sobre el uso de este rastrojo en la alimentación animal durante la estación seca.

El presente estudio persigue los siguientes objetivos: 1) Evaluar biológicamente el uso del rastrojo de maíz solo o en asocio con canavalia, con y sin suplemento, en la alimentación del ganado durante la época seca y 2) Determinar los beneficios y costos asociados con las diversas alternativas de uso del rastrojo de maíz.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se desarrolló en la Finca Experimental El Ejido, provincia de Los Santos, Panamá, (7° 53' N y 80° 23' O), situada a 26 msnm, con 27.3°C de temperatura media anual y 1122 mm de precipitación media anual, donde la época seca se extiende desde diciembre a mayo.

Manejo del Cultivo

Se sembró una área de 2 ha de maíz, durante la segunda época del año agrícola 1992-93, con maíz en monocultivo y la otra asocio con canavalia. En ambos sistemas, la preparación del suelo se hizo en la forma convencional, la densidad, fertilización, control de malezas y cosecha del grano fue similar para ambos sistemas. La siembra del maíz se hizo en forma mecanizada, con una densidad de 50,000 pl/ha. Se

¹Ing. Agrónomo M.Sc., ²Lic. Economía, M.Sc., ³Lic. Administración de Empresas y ⁴ Médico Veterinario del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, (IDIAP), Centro Regional Agropecuario de Azuero.

fertilizó con 225 kg de 15-30-8/ha al momento de la siembra y 180 kg de urea a los 35 días después de la siembra. El control de malezas y la cosecha del grano también se hizo en forma manual.

La canavalia se sembró manualmente de 1 a 3 días, después de la siembra del maíz, en surcos alternos, a 0.5 m entre plantas con una semilla por golpe.

Tratamiento y Diseño Experimental

Se estudiaron dos tipos de rastrojos como fuente de forraje (rastrojo de maíz solo y rastrojo de maíz asociado con canavalia) y dos niveles de suplementación (Cuadro 1), en raciones para novillas en crecimiento. Los cuatro tratamientos evaluados fueron los siguientes: rastrojo de maíz asociado con canavalia; rastrojo de maíz solo; rastrojo de maíz asociado con canavalia + 1.5 kg de suplemento/animal/día; y rastrojo de maíz solo + 1.5 kg de suplemento/animal/día.

Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Para la comparación de las medias se analizaron los siguientes contrastes: rastrojo de maíz asociado con canavalia vs rastrojo de maíz solo; rastrojo de maíz solo vs rastrojo de maíz solo más suplemento; rastrojo de maíz asociado con canavalia vs rastrojo de maíz asociado con canavalia más suplemento; rastrojo de maíz asociado con canavalia más suplemento vs rastrojo de maíz solo más suplemento.

Manejo de Animales

Se utilizaron 12 novillas cruzadas, con un peso inicial de 206.8 kg \pm 21.8 kg. Los animales se alojaron en corrales individuales, los cuales tenían una superficie de 30 m² cada uno, estaban provistos de comedores individuales que permitió cuantificar el consumo y rechazo del alimento de cada animal.

Cuadro 1. Composición porcentual del suplemento en base seca.

	Cantidad
Ingredientes	
Melurea	70.6
Harina de semilla de canavalia	29.4
Composición química	
Proteína cruda	15.1%

Al inicio del ensayo los animales fueron desparasitados externa e internamente, y se les aplicó vitamina AD₃-E. Durante todo el período experimental los animales tuvieron libre acceso a sal mineral y agua. Los animales fueron pesados al inicio del ensayo y posteriormente cada 14 días, hasta finalizar el ensayo, que comprendió un período de 70 días.

Manejo del Rastrojo y Raciones Experimentales

Después de la cosecha del maíz, el rastrojo permaneció en el campo hasta efectuar el corte del mismo, el cual se realizó semanalmente (del 10 febrero al 21 de abril), de acuerdo a las necesidades de forraje. De igual forma, el rastrojo se picó cada semana en una máquina estacionaria, a un tamaño que varió entre 2 a 6 cm y luego se almacenó para su uso posterior. A nivel de campo se midió la disponibilidad de rastrojo, a través de muestreos y además se determinó en la parcela asociada la proporción de rastrojo de maíz y de canavalia.

Las raciones se suministraron diariamente y se controló a base de pesadas diarias. La cantidad de forraje ofrecida fue dividida en dos porciones, las que se suministraron en la mañana y en la tarde. Mientras que, el suplemento se suministró únicamente durante la mañana. Por otro lado, el rechazo se retiró cada tres días, registrándose el peso del mismo. Se tomaron muestras del rastrojo y suplemento ofrecido, así como del rechazo, para sus respectivos análisis de laboratorio. A los animales se registraron los cambios de peso vivo y consumo de materia seca.

Evaluación Económica

La metodología utilizada en la evaluación económica consistió en el presupuesto parcial y análisis marginal (CIMMYT, 1988). Siguiendo esta metodología se analizaron todos los beneficios y costos variables vinculados con las diversas alternativa de uso del rastrojo evaluadas. Como parte de los beneficios brutos se incluyeron dos aspectos: el valor de la producción de maíz en grano (que incluye el efecto de incorporar la leguminosa), y el valor del rastrojo.

El valor de la producción de maíz se obtiene al multiplicar el precio de campo del maíz (precio de venta menos costos proporcionales al rendimiento o cosecha) por el rendimiento ajustado obtenido. El valor del rastrojo se obtuvo de la siguiente manera. Se estimó el precio sombra o costo de oportunidad de una tonelada de rastrojo mejorado, como el valor del incremento en kilogramos de carne que puede obtenerse

al utilizar el rastrojo mejorado (en cada alternativa) respecto al rastrojo de maíz solo durante el período en estudio. Esto puede expresarse a través de la siguiente fórmula:

$$Psr = Pc \cdot \frac{\Delta C}{\Delta R}$$

donde:

Psr, es el costo de oportunidad de una tonelada de rastrojo; Pc, es el precio de mercado que recibe el productor por un kg de carne; $\Delta C/\Delta R$, es el aumento en kilogramo de carne que provee cada tonelada de rastrojo de maíz mejorado respecto al rastrojo de maíz solo.

En el caso del rastrojo de maíz solo, se tomó el precio de mercado del mismo. Respecto a los costos variables se consideraron, además de la reducción del rendimiento del maíz (medido en la sección de beneficios brutos del presupuesto parcial), los costos de semilla y de la siembra de la canavalia, así como los costos de la suplementación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Evaluación Biológica

En el Cuadro 2 se presentan los rendimientos de materia seca y proteína cruda de rastrojos de maíz, sembrados en monocultivo y asociado. La producción de rastrojo de maíz se redujo en un 26.7%, cuando el maíz fue sembrado en asocio con la canavalia, en comparación a la siembra en monocultivo. Sin embargo, al cuantificar la producción total de forraje, se encontró que la parcela sembrada en asocio superó en 1.44 tm de ms/ha a la parcela sembrada en monocultivo, equivalente a 29.3%. Resultados similares fueron reportados por Gordón, R *et al.* 1993, donde encontraron una mayor producción de materia seca al intercalar la siembra de maíz y canavalia.

Por otro lado, se encontró que la producción de proteína cruda se incrementó significativamente en la parcela de maíz sembrada en asocio, donde la canavalia aportó el 76.6%. El mayor aporte de proteína cruda por parte de la canavalia, obedece principalmente a su mayor contenido de proteína cruda (11.25%) y alto rendimiento de materia seca/ha (43.3% del rendimiento de materia seca total del rastrojo).

Cuadro 2. Rendimiento de materia seca y proteína cruda de rastrojos de maíz sembrados en monocultivo o asociados

Parcela	Materia Seca T/ha	Proteína cruda kg/ha
Maíz en monocultivo	4.91	128.6
Maíz en asocio con canavalia		
- Rastrojo maíz	3.60	94.13
- Canavalia	2.75	309.4
Total	6.35	403.7

En el Cuadro 3 se presentan los promedios de consumo de materia seca y cambio de peso vivo, según el tipo de rastrojo. El consumo de materia seca total fue superior ($P < 0.02$), en los animales alimentados con rastrojo de maíz asociado con canavalia en comparación a rastrojo de maíz solo. Se logró un incremento de 25% equivalente a 0.41 kg de MS/100 kg de peso vivo/día. Las diferencias observadas en el consumo de forraje pueden deberse principalmente al mayor contenido de proteína cruda del rastrojo de maíz en asocio con canavalia (6.36 vs 2.62%); en concordancia a los resultados obtenidos por Lippke (1980), donde encontró una alta correlación entre el consumo de materia seca y materia orgánica digestible con el contenido de proteína cruda. El nivel de consumo de materia seca total del rastrojo de maíz solo, fue ligeramente inferior al obtenido por Espinosa (1983), debido posiblemente al menor contenido de proteína cruda del rastrojo de maíz utilizado en este estudio. En tanto que el nivel de consumo de materia seca del rastrojo de maíz en asocio con canavalia fue similar a los reportados por Espinosa (1983), con rastrojo de maíz asociado con *Dolichos lablab* e inferior al consumo de rastrojo de maíz asociado con *Pueraria phaseoloides*, *Centrosema plumieri* y *Centrosema pubescens*. Estas diferencias en consumo pueden deberse principalmente a la calidad de los rastrojos utilizados.

Cuadro 3. Efecto de la fuente de rastrojo sobre el consumo de materia seca y ganancia de peso.

	Rastrojo Maíz Solo	Rastrojo Maíz y Canavalia	Nivel de significancia
Consumo total de MS (kg de ms/100 kg de pv/día)	1.62	2.03	0.02
Ganancia de peso, g/An/día	-133.96	89.66	0.05

El tipo de rastrojo afectó significativamente la ganancia de peso ($P < 0.05$), observándose que los animales que consumieron rastrojo de maíz en asocio con canavalia presentaron ligeras ganancias de peso (90 gramos/An/día); mientras que los animales alimentado con rastrojo de maíz solo, sufrieron pérdidas de peso (134 gramos/An/día). Estas diferencias observadas entre ambos tratamientos se debieron principalmente a la diferencia en el consumo de materia seca y por ende en el consumo total de nutrientes digestibles. Las ganancias de peso obtenidos en este ensayo, son inferiores a las reportadas por Sinclair, *et al.* (1992), al evaluar la ganancia de peso en novillos alimentados con rastrojo de maíz solo y asociado con *Lablab purpurens* bajo pastoreo y corte. Sin embargo, los cambios de peso vivo obtenidos en este ensayo se encuentran dentro de los rangos esperados. Ruiloba (1987) señala que cuando se utiliza el rastrojo de maíz como única fuente de forraje, los animales presentan ligeras pérdidas de peso vivo.

En el Cuadro 4 se presenta el efecto de la suplementación sobre el consumo y ganancia de peso en novillas alimentadas con rastrojo de maíz. Se encontró que los animales suplementados presentaron un mayor consumo de materia seca total (rastrojo de maíz más suplemento) ($P < 0.08$), que los animales no suplementados; sin embargo, el consumo de rastrojo de maíz fue superior ($P < 0.05$) en los animales no suplementados, lo que muestra que la suplementación tuvo un efecto sustitutivo sobre el consumo de rastrojo de maíz. Contrario a lo esperado, ya que se indica que la suplementación con nitrógeno mejora el consumo de los forrajes toscos. Existe suficiente evidencia donde se demuestra lo indicado, Elliott (1967) encontraron una relación positiva entre el contenido de nitrógeno en forrajes de baja calidad y el consumo voluntario. También Weston (1971), observó que el consumo de forrajes fue mayor para las dietas que contenían más proteína cruda. Por su parte Redman *et al.*, (1980) encontraron que la suplementación nitrogenada incrementó el consumo de forrajes de baja calidad y el consumo voluntario.

Las ganancias de peso presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.03$), encontrándose que los animales suplementados superaron en 245 gramos/An/día, a los no suplementados. Lo que demuestra que la suplementación tuvo un efecto positivo sobre la ganancia de peso.

Cuadro 4. Efecto de la suplementación sobre el consumo de materia seca y ganancia de peso en novillas alimentadas a base de rastrojo de maíz.

	Sin Suplemento	Con Suplemento	Nivel de Significancia
Consumo total de MS kg/An/día	1.62	1.90	0.08
Consumo de rastrojo (kg de MS/100 kg de PV)	1.62	1.30	0.05
Ganancia de peso, g/An/día	-133.96	111.27	0.03

En el Cuadro 5 se presenta el efecto de la suplementación sobre el consumo de materia seca y ganancia de peso en novillas alimentadas con rastrojo de maíz asociado con canavalia. Se observó que el consumo de materia seca fue mayor ($P < 0.04$) en los animales suplementados, en comparación a los animales no suplementados, y el consumo de rastrojo no fue afectado por el suplemento ($P < 0.15$). De igual forma se encontró que las ganancias de pesos fueron superiores ($P < 0.04$) en los animales suplementados, en respuesta a un mayor consumo de materia seca y por ende de nutrientes.

Cuadro 5. Efecto de la suplementación sobre el consumo de materia seca y ganancia de peso en novillas alimentadas a base de rastrojo de maíz en asocio con canavalia

	Sin Suplemento	Con Suplemento	Nivel Significancia
Consumo total de MS (kg de MS/100 kg de Pv/día)	2.03	2.40	0.03
Consumo de rastrojo (kg de MS/100 kg de PV/día)	2.03	1.83	0.18
Ganancia de peso, g/An/día	89.66	317.6	0.04

En el Cuadro 6 se presenta el efecto de la suplementación sobre consumo de materia seca y ganancia de peso en novillas alimentadas con rastrojo de maíz solo o en asocio con canavalia. Se encontró diferencias altamente significativas en el consumo de materia seca total ($P < 0.01$) y consumo de rastrojo ($P < 0.006$), siendo superior en el tratamiento con rastrojo de maíz en asocio con canavalia. También se encontró diferencias significativas en la ganancia de peso ($P < 0.6$), obteniéndose las mejores ganancias de peso en los animales que consumieron rastrojo de maíz en asocio con canavalia más suplemento. La diferencia en ganancia de peso entre ambos tratamientos, se debió principalmente al mayor consumo de rastrojo de maíz en asocio con canavalia, ya que el nivel de suplementación fue similar para los dos tratamientos.

Cuadro 6. Efecto de la fuente de rastrojo sobre el consumo de materia seca y ganancia de peso en novillas suplementadas con melurea y harina de canavalia.

	FUENTE DE RASTROJO		
	Rastrojo Maíz	Rastrojo Maíz y Canavalia	Nivel de Significancia
Consumo Total de MS (kg de MS/100 kg de PV)	1.90	2.40	0.01
Consumo de Rastrojo (kg de MS/100 kg de PV/día)	1.30	1.83	0.006
Ganancia de Peso, g/An/día	111.27	317.6	0.06

Cuadro 7. Base de datos necesaria para la elaboración del presupuesto parcial.

Descripción	Maíz Solo	Maíz + Canavalia	Maíz Solo + Suplemento	Maíz + Canavalia + Suplemento
Rendimiento de maíz en grano (kg/ha)	3,640	3,410	3,640	3,410
Rendimiento de rastrojo (kg/ha)	4,910	6,350	4,910	6,350
- Rendimiento rastrojo maíz	4,910	3,600	4,910	3,600
- Rendimiento de rastrojo canavalia	—	2,750	—	2750
Composición porcentual del forraje				
- Rastrojo de maíz	100%	56.69%	100%	56.69
- Rastrojo de canavalia	—	43.31%	—	43.31
% de rechazo del forraje ofrecido	25%	25%	25%	25%
Forraje total consumible (kg/ha)	3,682.5	4,762.5	3,682.5	4,762.5
Consumo de rastrojo, con y sin suplemento (kg M.S/A/día)	3.330	4.387	2.617	3.950
Cambio de peso (kg/A/día)	-0.134	0.090	0.111	0.318
Capacidad de carga (No. A/ha en 1 día)	1,105.8	1,085.6	1,407.1	1,205.7
Capacidad de carga (No. A/ha/70 días)	15.8	15.5	20.10	17.22
Cambio de peso (kg/ha)	-148.18	97.70	156.19	383.41
Incremento de carne respecto al rastrojo de maíz solo (kg de carne/ha)	—	245.88	304.37	531.59
Incremento de carne respecto al rastrojo de maíz solo (kg de carne/ton de forraje)	—	38.72	61.99	83.71
Precio de campo del maíz (B./kg)	0.19	0.19	0.19	0.19
Precio de mercado de una ha de rastrojo de maíz solo (B./ha)	50.00	—	—	—
Precio de un kg de carne (hembra)	0.88	0.88	0.88	0.88
Costo de oportunidad de una ha de rastrojo (mejorado, con y sin suplemento)	—	34.07	54.55	73.66

Evaluación Económica

Para el análisis económico de las distintas alternativas de uso del rastrojo evaluadas, se utilizó la base de datos expuesta en el Cuadro 7. Se observa en el Cuadro 8, que la suplementación del rastrojo aumenta los costos variables de manera significativa en el rastrojo de maíz solo, respecto al rastrojo de maíz más canavalia. Esto se explica porque al no producir el maíz en asocio con la canavalia, se utilizó como costo alternativo del grano de canavalia utilizado en la suplementación, el equivalente al precio de la pasta de soya (en forma proporcional al contenido de proteína cruda en relación con la canavalia). En tanto, la suplementación del rastrojo de maíz más canavalia se le imputa solamente el costo de cosecha y molida del grano.

Llama la atención también los bajos costos variables vinculados con la alternativa de asociar el maíz con canavalia y su utilización sin suplementación, ya que solamente se incurre en el costo de la semilla y siembra de la canavalia; y la reducción del rendimiento del maíz como el costo más importante de incorporar la canavalia al sistema, y el cual se refleja en la sección de los beneficios brutos del presupuesto parcial.

Por otro lado, con referencia a los beneficios brutos procedentes del uso del rastrojo, medidos a través del valor del incremento de carne respecto a la alternativa de utilizar el rastrojo de maíz solo; se muestra en el Cuadro 8, un mayor costo de oportunidad por tonelada de rastrojo cuando se suplementa tanto el rastrojo de maíz solo, como el rastrojo de maíz más canavalia.

Cuadro 8. Presupuesto parcial/ha en la evaluación de diversas alternativas de uso del rastrojo de maíz, Panamá, 1992-93.

Descripción	Tratamientos			
	Rastrojo de Maíz Solo	Rastrojo Solo + Suplemento	Rastrojo de Maíz + Canavalia	Rastrojo de Maíz + Canavalia + Suplemento
1. Beneficios Brutos / ha				
1.1. Beneficios brutos de maíz	691.60	691.60	647.90	647.90
Rendimiento de maíz	3.640	3.640	3.410	3.410
Precio de campo de 1 ton. de maíz	190.00	190.00	190.00	190.00
1.2. Beneficios brutos de rastrojo	50.00 ¹	267.84	216.34	467.74
Rendimiento de rastrojo (t/ha)	4.910	4.910	6.350	6.350
Costo oportunidad de 1 ton. de rastrojo	10.18	54.55	34.07	73.66
Beneficios Brutos Totales B/ha	741.60	959.44	864.24	1,115.64
2. Costos Variables/ha				
2.1. Semilla de canavalia				
30 lbs/ha (B/0.30/lb) ²	—		9.00	9.00
2.2. Siembra de canavalia				
2 jornales (B/6.00/jornal)	—		12.00	12.00
2.3. Costo de Mel-Urea				
1,582.99 kg (B/0.0348/kg)		55.09		
1,356.41 kg (B/0.0348/kg)				47.20
2.4. Grano de canavalia				
452.14 kg grano (B/0.096/kg) ³				43.40
527.66 kg grano (B/0.206/kg) ⁴	—	108.70		
2.5. Mano de obra por manejo (B/0.01/kg de suplemento)		21.10		18.08
Costos Variables/ha	0	184.89	21.00	129.68
Beneficios Netos/ha	741.60	774.55	843.24	985.96

¹Corresponde al precio de mercado de una ha de rastrojo en el área; ²Se refiere al precio de venta de la semilla de canavalia en IDIAP; ³Se refiere al costo de cosecha y molida del grano de canavalia; ⁴Corresponde al precio de la pasta de soya, proporcional al contenido de proteína cruda en relación con la canavalia.

Sin embargo, cuando se analizaron los beneficios netos (beneficios brutos menos costos variables) de todas las alternativas y se compararon con los respectivos costos variables, Cuadro 9, se tiene que la alternativa de cultivar maíz solo y suplementar el rastrojo resulta dominada económicamente, esto es, a menores costos variables (como son las alternativas de maíz más canavalia, y maíz más canavalia más suplemento) se obtienen beneficios netos más altos.

El Cuadro 9, muestra que es altamente rentable la alternativa de asociar el maíz con canavalia (TMR de 484 %), respecto a la práctica común del productor de sembrar el maíz en monocultivo y utilizar el rastrojo de maíz solo en la alimentación animal. Por otro lado, la alternativa de asociar el maíz con canavalia y suplementar el rastrojo produjo los mayores beneficios netos de las alternativas evaluadas, y una tasa marginal de retorno (131%) que supera la tasa marginal de retorno mínima del área. Esto se explica porque una de las fuentes de suplementación utilizadas, el grano de la canavalia, proviene del mismo sistema de producción (maíz en asocio con canavalia) lo que abarata su costo, al considerar solamente el costo de cosecha y molienda del grano.

La evaluación económica ha permitido demostrar que la alternativa de asociar el maíz con canavalia (con y sin suplementación) aumenta la rentabilidad a corto plazo del sistema de producción maíz-ganadería, el cual tiene que evaluarse de manera integral, con especial énfasis en la región de Azuero.

CONCLUSIONES

1. El rastrojo de maíz asociado con canavalia mejoró el consumo de forraje y por ende las ganancias de peso en comparación al rastrojo de maíz solo.
2. La suplementación energética proteínica incrementó el consumo total de materia seca y las ganancias de peso tanto en novillas alimentadas con rastrojo de maíz solo, como en rastrojo de maíz asociado con canavalia.
3. La evaluación económica indicó que la alternativa de asociar el maíz con canavalia y la utilización de este rastrojo (con y sin suplementación) aumentó la rentabilidad del sistema maíz-ganadería, en comparación con la alternativa de uso del rastrojo de maíz solo, incluso con suplementación

REFERENCIAS

- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F. México: CIMMYT. p. 79.
- Elliot, R.C. 1967. Voluntary intake of low-protein diets by ruminants. I. Intake of food by cattle. *J. Agric. Sci. Camb.* 69:375.

Cuadro 9. Análisis marginal en la evaluación de diversas alternativas de uso del rastrojo de maíz, Panamá, 1992-1993.

Tratamiento	Costos Variables	Beneficios Netos	Análisis Dominancia	Δ en costos variables	Δ en beneficios netos	TMR %
1. Maíz solo	0	741.60		--	--	--
2. Maíz + canavalia	21	843.24		21	101.64	484
3. Maíz + canavalia + suplemento	129.68	985.96		108.68	142.72	131
4. Maíz solo + suplemento	184.89	774.55	d			

Espinosa Andrade, J.R. 1983. Consumo y parámetros de digestión en rastrojo de maíz cultivado solo o en asocio con leguminosa. Tesis Msc. Turrialba Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Sistema de Estudios de Posgrado. p. 47.

Gordón R.; N. De Gracia; J. Franco; A. González y J. Bolaños. Asocio de maíz con canavalia a distintas épocas y arreglos de siembra en Azuero, Panama, 1992-93. En: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1992, VOL. 4 (1993) p. 102-105.

Lippke, H. 1980. Forage Characteristics related to intake, digestibility and gain by ruminants. *J. Anim. Sc.* 50:952.

Redman, R. G.; R. C. Kelleway y J. Leibholz 1980. Utilization of low quality roughages: effects of urea and protein supplements of differing solubility on digesta flows, intake and growth rate of cattle eating oaten chaff. *Br. J. Nutr.* 44:343.

Ruiloba V., M.H. Recursos voluminosos de baja calidad para alimentar el ganado durante el verano. Panamá, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, 1987. 24p ilustr., tablas (Boletín Técnico, 15).

Sinclair, R.; L. Wege y A. Romero. 1992. Potencial del rastrojo de maíz con leguminosa en la alimentación de ganado de engorde. *Agronomía Mesoamericana.* 3:45

Weston, R. H. 1971. Factors limiting the intake of feed by sheep. V. Feed intake and the productive performance of the ruminant lamb in relation to the quality of crude protein digested in the intestines. *Aust. J. Agric. Res* 22:307.

Zea, J. L; W R Raun y H. J. Barreto. 1991. Efectos de intercalar leguminosas a diferentes fechas de siembra y dosis de fósforo sobre el rendimiento de maíz (*Zea maíz L.*) Centro América En: Análisis de los ensayos regionales de Agronomía (PRM) para Centro América y El Caribe.



**ESTUDIOS DE DIAGNOSTICO,
ADOPCION E IMPACTO**

Dinámica y Variabilidad de los Componentes del Rendimiento en 28 Campos de Maíz en Centro América

J. Bolaños¹, J. Pérez², J.L. Zea³, J.L. Quemé³, M. Fuentes³, C. Mendoza⁴ y G. López⁴

RESUMEN

Los rendimientos promedios de maíz en la región de Centro América son de 1.5-2.0 t/ha, lo que implica un bajo número de plantas y/o mazorcas cosechadas por área. Se efectuó un monitoreo dinámico para examinar los procesos de elaboración del rendimiento y sus componentes en 28 campos de agricultores o parcelas de validación de maíz de la región. Se monitorearon 5 o 10 estaciones lineales de 3 o 5 m de largo dentro de un área pre-establecida de 100 m² en cada campo. Comparaciones entre las parcelas lineales con la final de 100 m² indicaron sobreestimaciones de 10% en las parcelas lineales para la densidad de plantas (pl/m²) y el rendimiento. El CV se mantuvo constante cercano al 20% para el rango de pl/m² observado, pero decreció de 60% en rendimientos bajos a 20% para rendimientos superiores a 2.0-2.5 t/ha. La densidad promedio de siembra fue de 5.30 pl/m², con una pérdida de 20% de las plantas en los primeros 20 días para una densidad de 4.14 pl/m² al establecimiento, una densidad final de 3.80 pl/m² (6% reducción adicional), cosechándose 3.26 mz/m² (para 0.87 mz/pl) con un peso de 81 g/mz para un rendimiento promedio de 2.70 t/ha. Se encontró una fuerte dependencia lineal entre el rendimiento y el número de mz/m², el peso de mazorca y la biomasa final. Se detectó que rendimientos inferiores a 2.0-2.5 t/ha parecen estar asociados con un bajo número de mz/pl y bajo índice de cosecha. No se detectó ninguna explicación causativa para la pérdida inicial de plantas en base a calificaciones visuales de limitaciones y deficiencias bióticas y abióticas. Se encontró una relación positiva entre el número de hojas verdes por debajo de la mazorca a la floración y el peso de grano. Más del 70% de los agricultores muestreados tuvieron rendimientos inferiores a 2.5 t/ha. Los diagnósticos confirman la importancia de los componentes de rendimiento para entender las limitaciones al rendimiento dentro de los sistemas de producción de maíz de la región.

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; Beauval, 1992a).

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 de 3.73 t/ha, con una densidad a la cosecha de 4.30 pl/m² y 3.94 mz/m² (mz/pl de 0.92) y un peso promedio de mazorca de 93 g/mz. La población de plantas a la cosecha fue 15% menor que la densidad teórica establecida en los ensayos, aún con tratamientos específicos para mantener la densidad deseada. Parcelas con bajos rendimientos estaban asociados con bajo número de pl/ha, mz/ha, mz/pl o peso de mazorca (Bolaños y Barreto, 1991).

Turrent (1983) analizó los componentes de rendimiento en 11 campos de maíz de agricultores de Las Tuxtlas (México) en siembras de secano encontrando una fuerte relación entre el rendimiento y el número de mz/m² cosechadas (o el número de granos por m²) y el peso promedio de estas (o estos). En estos diagnósticos, los rendimientos promedios fueron 1.54 ± 0.9 t/ha, la densidad inicial de siembra fue 4.42 pl/m², la densidad final fue de 2.99 pl/m² (32% de pérdida) y se cosecharon 2.69 mz/m² (mz/pl de 0.90) de 57 g/mz. El autor concluyó que la variación en rendimiento en los 11 campos de agricultores dependió más de la variación en la población final de plantas y/o mazorcas que del tipo

¹Agrónomo Regional para Centro América y el Caribe, CIMMYT, Guatemala; ²Investigador de Maíz, CNIGB, Nicaragua; ³Investigadores de Maíz, ICTA, Guatemala; ⁴Investigadores de Maíz, SRN, Honduras.

de variedad usada,, del número de granos por mazorca o del peso final de grano (Turrent, 1983). Beauval (1992a), con datos de 9 parcelas de maíz en Baja Verapaz (Guatemala) reportó densidades promedio de 5.39 pl/m² con una pérdida de plantas de 19% de la siembra al establecimiento. En otro estudio en 2 fincas de maíz en la misma zona, del establecimiento a la cosecha se perdieron 19 y 28% de las plantas, principalmente por plántulas sin vigor y ataques de gusano cogollero y gallina ciega. En estas 2 parcelas, la cosecha final fue de 3.60 y 4.40 mz/m² para rendimientos de 4.65 y 7.60 t/ha (Beauval, 1992b).

Estos estudios sugieren que rendimientos de maíz inferiores a 2.0-2.5 t/ha están asociados a un bajo número de pl/ha, mz/ha y mz/pl (plantas infértiles), y por ende bajos índices de cosecha. Un bajo número de pl/ha 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 sincrónicamente y sucesivamente los componentes de rendimiento (Bolaños y Barreto, 1991; Bolaños y Edmeades, 1993).

Los objetivos de este 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 las áreas de influencia del PRM.

MATERIALES Y METODOS

Descripción de las 28 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 28 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 los sistemas de producción de maíz típicos de la región de Centro América. La Figura 1 muestra la localización geográfica de cada parcela dentro de un mapa de la región.

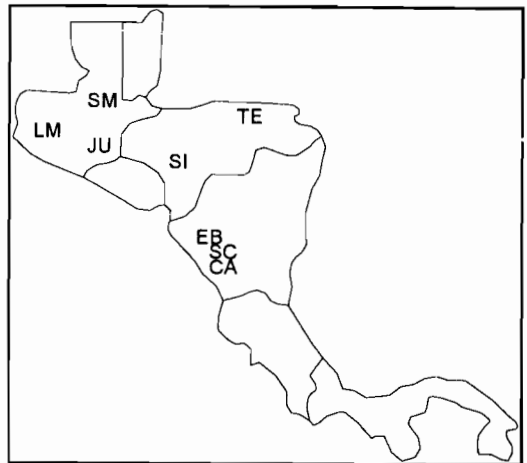


Figura 1. Mapa de Centro América ilustrando las localidades donde se efectuaron los diagnósticos dinámicos en 1992. Símbolos son: LM (La Máquina), SM (San Miguel Chicaj), JU (Jutiapa), SI (Siguatopeque), TE (Tela), EB (El Brasil), SC (San Cristóbal), y CA (Carazo).

Los detalles de cada localidad se encuentran descritos en el Cuadro 1. Las localidades de San Miguel Chicaj (1 a 4), Jutiapa (5 a 8), La Máquina (9-10), El Brasil (10 a 13), Carazo (14-15), Siguatopeque (16-17-21-22) y Tela (27-28) representan diagnósticos agronómicos dinámicos en campos de agricultores representativos del PRM. Las localidades 18, 19 y 20 reflejan tratamientos experimentales apareados en parcelas de 100 m² cada uno sobrepuestos en la parcela del agricultor 17. La número 18 representa el testigo (similar a la 17), la 19 representa adición de rastrojo de maíz suficiente para cubrir completamente el suelo como mantillo superficial (cerca de 6 t/ha), y en la número 20 se duplicó la densidad inicial de siembra a 88 mil pl/ha. En ninguna de estas se varió ningún otro factor experimental o cultural excepto los mencionados. Las localidades 18, 19 y 20 permite comparar los efectos de añadir rastrojo como mantillo y/o duplicar la densidad de siembra contra el testigo del agricultor. En estas no se efectuó diagnóstico dinámico solamente efectuándose la cosecha final. Las localidades 23 al 26 representan parcelas grandes de validación (250 m²) de variedades tolerantes al achaparramiento en Nicaragua sembradas en la estación experimental de San Cristóbal en postrera de 1992, por tanto bajo buenas condiciones de manejo. Las localidades 27 y 28 representan sistemas de maíz en rotación con mucuna, típicos de las aboneras en uso en el Litoral Atlántico de Honduras.

Cuadro 1. Descripción de los 28 campos de agricultores o parcelas de validación de maíz muestreados.

N o	Investig.	Localidad	País	Agricultor	Parc (ha)	Labr z	Siemb	Variedad	Germ (%)	Potencial Ambiental
1	JLQueme	SMChicaj	Guat	MLarios	0.7	A	Man	Criollo	92	Pobre
2	JLQueme	SMChicaj	Guat	LAlvarado	0.7	A	Man	Criollo	82	Pobre
3	JLQueme	SMChicaj	Guat	DXitumal	0.7	M-A	Man	Criollo		Regular
4	JLQueme	SMChicaj	Guat		0.7	A	Man	Criollo	80	Pobre
5	JLZea	Jutiapa	Guat	AFlores	1.4	A	Man	HB-19	89	Bueno
6	JLZea	Jutiapa	Guat	CArrivillaga	1.4	M-A	Man	B-1	86	Bueno
7	JLZea	Jutiapa	Guat	MBarrera	1.1	M-A	Man	HB-83	90	Bueno
8	MFuente	LMaquina	Guat	RIxco	7.0	M-A	Man	B-1	75	Regular
9	MFuente	LMaquina	Guat	FCruz	1.1	M-A	Man	B-1	70	Regular
10	JPérez	EBrasil	Nica	PBrizuela	1.4	A	Man	NB-6		Regular
11	JPérez	EBrasil	Nica	PBrizuela	1.4	A	Man	NB-30		Regular
12	JPérez	EBrasil	Nica	RRamírez	7.0	A	Man	NB-30		Regular
13	JPérez	EBrasil	Nica	RRamírez	7.0	A	Man	NB-6		Regular
14	RLara	Carazo	Nica	JCalero	1.5	M	Man	NB-6	92	Bueno
15	RLara	Carazo	Nica	OCastillo	0.8	M	Man	NB-6	80	Bueno
16	CMendoza	Siguatop	Hond	FAraque	1.2	A	Man	PB	90	Regular
17	CMendoza	Siguatop	Hond	AAandrade	3.0	A	Man	PB+RMX	92	Regular
18	CMendoza	Siguatop	Hond	idem	3.0	A	Man	PB+RMX	92	Regular
19	CMendoza	Siguatop	Hond	+rastr	3.0	A	Man	PB+RMX	92	Regular
20	CMendoza	Siguatop	Hond	+dens x 2	3.0	A	Man	PB+RMX	92	Regular
21	CMendoza	Siguatop	Hond	DAraque	1.4	M	Man	PB+RMX	81	Regular
22	CMendoza	Siguatop	Hond	GRodríguez	1.2	M	Man	RMX	93	Regular
23	JPérez	SCristóbal	Nica	Validación	0.5	M	Mec	NB-6		Bueno /Est Exp
24	JPérez	SCristóbal	Nica	Validación	0.5	M	Mec	SC3P73R		Bueno /Est Exp
25	JPérez	SCristóbal	Nica	Validación	0.5	M	Mec	SC2P76N		Bueno /Est Exp
26	JPérez	SCristóbal	Nica	Validación	0.5	M	Mec	NB-12		Bueno /Est Exp
27	GLópez	Tela	Hond	MAndrade	1.4	0-L	Man	PB	95	Bueno/ mucuna
28	GLópez	Tela	Hond	JRivera	2.2	0-L	Man	PB+TB	85	Bueno/ mucuna

¹ PLB es Honduras Planta Baja, RMX es Rocamex, TB es Tuza Blanca.

² En Labranza, A es animal, M es mecánico, 0-L es zero-labranza.

³ En Siembra, Man es manual (chuzo, espeque) y Mec es mecanizado.

Establecimiento de las Estaciones para las Mediciones y Toma de Datos

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. 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 V_1-V_T , R_1-R_6) (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). Se tomaron muestras de suelo para análisis químico y con un barreno se examinó el perfil de suelo notándose su textura, estructura y profundidad. Se determinó la pendiente del suelo y su inclinación-orientación ($0^{\circ}=\text{N}, 90^{\circ}=\text{E}, 180^{\circ}=\text{S}, 270^{\circ}=\text{O}$). Se tomaron muestras foliares (lámina de hoja de mazorca) a la floración y muestras de rastrojo y grano a la cosecha del cultivo para determinación de contenido de N, P y otros elementos.

Cosecha Final

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 1 distancia promedio entre surcos y se contó el número total de plantas 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 (Bolaños y Barreto, 1991).

Análisis y Presentación de Datos

Los datos se promediaron por agricultor y por

visita. Debido a la diferencia en días a cosecha y en la densidad inicial de siembra entre los distintos agricultores, los datos se estandarizaron en una escala temporal de 100 desde la siembra (0) a la cosecha (100). La relación de la densidad de plantas (pl/m^2) y mazorcas (mz/m^2) a través del ciclo del cultivo se analizó por regresión lineal con esta medición temporal estandarizada. Se efectuó análisis de correlación y regresión entre los datos según su pertinencia.

Los diagnósticos en las parcelas lineales (fijas y al azar) en general tendieron a sobreestimar rendimiento, pl/m^2 y mz/m^2 en 10%, en base a regresión entre los datos obtenidos en ambos tipos de parcelas (datos no mostrados). En las gráficas y cuadros que siguen, los datos de rendimiento y pl/m^2 a la cosecha reflejan el área de 100 m^2 y no las estaciones lineales. Sin embargo, la densidad inicial, la tasa de pérdida de plantas, y los componentes de rendimiento están basados en las estimaciones en las parcelas lineales. Por tanto, en algunos casos, se encuentran ciertas discrepancias en los componentes de rendimiento mostrados.

RESULTADOS Y DISCUSION

Variabilidad en los Componentes de Rendimiento

El Cuadro 2 muestra la densidad inicial de siembra, la densidad final, la tasa de pérdida de población durante el establecimiento y a través del ciclo, el rendimiento y sus componentes (mz/m^2 , 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 y de acame, el número de hojas verdes por debajo de la mazorca y el área de la hoja de la mazorca para los 28 agricultores muestreados.

Los agricultores muestreados en las localidades de San Miguel Chicaj (1-4), El Brasil (10-13), Siguatepeque (17-20) tuvieron rendimientos inferiores a 2.0 t/ha. Muchos de estos estaban en localidades con poco potencial de rendimiento por sequía (San Miguel Chicaj y El Brasil) o por condiciones de subsistencia (Siguatepeque). En estos, el uso de materiales criollos y materiales mejorados degenerados (Rocamex, Honduras Planta Baja) predominó. En el caso del agricultor 17, la adición de rastrojo (agr 19) redujo drásticamente el rendimiento de 1.12 a 0.37 t/ha, principalmente debido a una reducción en el peso de mazorca de 59 a 26 g/mz

Cuadro 2. Densidad de plantas (pl/m²) a la siembra y cosecha en las estaciones lineales, su tasa de pérdida calculada por regresión, la pérdida de la siembra al establecimiento (v1 a v2), el número de plantas (pl/m²) y mazorcas (mz/m²) en el área de 10 x 10 m, el número de mazorcas por planta (mz/pl), el peso de mazorca promedio (pmz), el índice de desgrane (ind desg), el peso de 1 grano (pig), el número de granos por mazorca (ng/mz), la humedad del grano (%), el rendimiento de grano sano, el rendimiento de rastrojo y la biomasa total (t/ha), el índice de cosecha, el rendimiento podrido (t/ha) y el porcentaje final (%) de mazorcas podridas y acame, el área de la hoja de la mazorca (cm²) y el número de hojas verdes debajo de la mazorca a la floración (nhjv) en 28 diagnósticos dinámicos efectuados en 1992.

No	pl/m ² siemb	pl/m ² cosech	Perd reg	Perd v1v2	pl/m ² 10x10	mz/m ²	mz/pl	pnz g	ind desg	pig g	ng/mz	humg %	rend t/ha	rendr t/ha	blomt t/ha	ind cosech	podr t/ha	mzpod %	scame %	hjmz cm ²	nhjv	
1	3.78	3.02	0.19	0.04	2.55	2.58	0.87	14	0.68	0.26	129	14.4	0.35	2.58	3.12	0.12	0.01	34.8	17.1	434	6.3	
2	6.77	4.06	0.37	0.32	3.75	3.51	0.88	37	0.86	0.19	282	14.6	1.27	2.04	3.12	0.30	0.09	5.9	16.7	422	3.7	
3	8.37	4.31	0.45	0.40	2.83	3.22	0.75	39	0.80	0.23	294	21.3	1.24	2.72	3.60	0.20	0.03	20.8	11.2	654	4.8	
4		0.59																		575	5.0	
5	4.41	3.69	0.13	0.10	3.89	3.46	0.95	123	0.76	0.32	508	18.4	4.22	5.60	10.53	0.36	0.01	1.5	0.4	603	5.4	
6	5.12	3.81	0.23	0.13	3.59	3.83	1.02	90	0.80	0.27	397	20.6	3.47	3.13	6.40	0.41	0.09	4.9	5.8	461	4.4	
7	6.04	4.71	0.18	0.09	4.16	4.98	1.07	179	0.81	0.39	494	23.4	8.83	8.60	16.73	0.39	0.43	8.4	2.1	702	6.3	
8	5.56	3.43	0.37	0.36	2.05	3.17	0.93	70	0.78	0.28	481	19.0	2.21	2.53	4.00	0.29	0.14	12.3	67.6	558	4.3	
9	7.89	4.06	0.47	0.44	1.86	3.42	0.83	84	0.80	0.25	457	19.7	2.86	1.81	3.32	0.36	0.03	1.0	21.4	617	4.2	
10	4.47	4.35	0.06	0.05	3.61	2.31	0.53	24	0.71	0.13	266	21.8	0.55	2.30	2.51	0.06	0.11	26.1	12.5	550	3.3	
11	4.03	3.66	0.12	0.00	3.03	2.36	0.64	30	0.71	0.18	306	22.4	0.72	1.75	2.20	0.15	0.01	2.5	5.9	530	2.3	
12	5.75	3.62	0.36	0.33	2.91	3.02	0.82	56	0.72	0.28	341	28.1	1.75	2.76	4.51	0.28	0.07	5.9	1.0	565	4.8	
13	2.97	2.38	0.18	0.00	2.21	2.18	0.91	69	0.71	0.33	332	28.8	1.46	2.04	3.57	0.31	0.05	10.2	0.0	529	5.1	
14	4.61	3.47	0.08	0.25	3.50	3.34	0.97	163	0.75	0.38	561	16.0	5.46				0.07	2.6	0.0	279	4.6	
15	6.51	3.79	0.43	0.23	3.79	3.70	0.98	173	0.81	0.38	598	18.0	6.39				0.42	3.4	0.0	248	4.7	
16	4.24	4.04	0.09	0.04				86	0.70			15.0	3.26				0.03	2.2	3.9	679	2.3	
17	5.27	1.97	0.54	0.37				86	0.70			15.0	1.12				0.00	0.0	3.3	562	2.0	
18		4.25						59	0.70			15.0	1.12				0.05	3.1	6.5			
19		2.08						26	0.70			15.0	1.12				0.00	0.0	13.5			
20		7.01						21	0.70			15.0	1.48				0.10	5.6	7.2			
21	4.61	3.38	0.30	0.04				70	0.70			15.0	2.53				0.47	21.9	32.3	748	3.7	
22	4.71	3.56	0.14	0.19				84	0.70			15.0	2.53				0.11	3.4	11.6	890	3.1	
23	4.84	3.12	0.28	0.32	3.25	2.65	0.86	100	0.77	0.33	416	22.8	2.61	5.06	7.90	0.28	0.02	1.5	15.4	688	5.8	
24	9.30	6.37	0.24	0.19	6.89	3.67	0.59	53	0.70	0.26	335	18.8	1.95	9.42	11.65	0.13	0.12	6.9	10.6	696	5.0	
25	4.19	2.42	0.28	0.39	2.95	2.05	0.84	95	0.77	0.31	444	20.6	1.94	6.17	8.81	0.23	0.00	0.0	24.7	717	6.5	
26	4.65	4.14	0.07	0.07	4.51	3.35	0.81	69	0.80	0.28	337	16.8	2.29	4.15	6.65	0.30	0.05	3.3	5.4	592	5.2	
27	4.91	4.41	0.29	0.25	2.31	4.22	0.96	188	0.82	0.38	557	21.5	7.83	6.88	13.54	0.49	0.49	5.5	4.4	225		
28	4.13	3.43	0.14	0.12	2.72	2.22	0.65	159	0.81	0.36	417	19.8	2.96				0.32	16.7	40.7			
Med	5.30	3.80	0.26	0.20	3.32	3.26	0.87	81	0.75	0.29	398	19.0	2.70	4.09	6.60	0.27	0.13	7.8	12.6	564	4.5	
Des	1.52	1.09	0.15	0.14	1.11	1.02	0.14	52	0.05	0.07	118	4.0	2.17	2.44	4.32	0.12	0.16	8.9	14.9	160	1.3	
Estánd																						

Pérdida por regresión calculada por regresión lineal a través de las 5-6 determinaciones durante el diagnóstico (plm2=a-b(ddss)).

(Cuadro 2). Esta reducción en rendimiento por adiciones de 6.0 t/ha de rastrojo de maíz es consistente con los resultados mostrados por Sosa *et al.* (1993), donde muestra claramente que adiciones de rastrojo sin considerar aplicaciones adicionales de N para superar el efecto de inmovilización puede reducir el rendimiento de maíz, especialmente en ambientes con poco N disponible y suelos marginales. Para el agricultor 17, doblar la densidad de siembra (agr 20) incrementó un poco el rendimiento al aumentar de 4.17 a 6.56 el número de mz/m^2 a la cosecha, pero reduciendo el peso de mazorca de 59 a 23 g/mz (Cuadro 2).

Agricultores de La Máquina (8-9), los ensayos de validación en Nicaragua (23-26), Siguatepeque (16, 21, 22) tuvieron rendimientos entre 2.0 y 3.0 t/ha. Los rendimientos superiores a 3.0 t/ha fueron obtenidos por agricultores en Jutiapa (5-7), Carazo (14-15) y Tela (27-28). En estos predominó el uso de variedades mejoradas (NB-6, B-1) e híbridos (HB-19 y HB-83), así como niveles de insumos adecuados. Los ensayos de validación mostraron un rendimiento bastante bajo para las condiciones establecidas, dentro de una estación experimental y bajo altos niveles de manejo agronómico. Sin embargo, muestras de germinación mostraron una fuerte pérdida de vigor debido a cortes de electricidad en Nicaragua en las bodegas de almacenamiento de semilla (datos no mostrados).

La Figura 2 muestra los mismos datos en forma gráfica, enseñando para los agricultores muestreados la distribución de frecuencias relativas para las variables de rendimiento y sus componentes (pl/m^2 , mz/m^2 , mz/pl , $p1g$, $pesmz$). La densidad de plantas y mazorcas (pl/m^2 y mz/m^2) y el peso de 1 grano ($p1g$) muestran patrones de frecuencia característicos a la distribución normal. Las estadísticas descriptivas para pl/m^2 , mz/m^2 y $p1g$ fueron, respectivamente, $\mu = 3.80 \pm 1.09$, $\mu = 3.26 \pm 1.02$, y $\mu = 0.29 \pm 0.07$. Es interesante que las desviaciones estándares de pl/m^2 y mz/m^2 son similares y cercanas a 1.0 (10 mil unidades por ha). O sea, 66% de los agricultores de la región estarán en densidades de cosecha entre 3.0 y 5.0 pl/m^2 , aún por debajo del óptimo mostrado para los cultivares de maíz disponibles. Asimismo, parece que el cultivo de maíz no logra producir granos que pesan menos de 100 mg y en ningún caso el peso de grano sobrepasó los 400 mg (Figura 2, Cuadro 2).

De los componentes de rendimiento, sólo la distribución de mazorcas por planta (mz/pl) se muestra asimétrica cargada a la izquierda, dado que el

maíz normalmente produce sólo 1 mazorca por planta, y la curva refleja la pérdida del potencial de 1 mz/pl en muchos de los campos examinados. Solamente 3 de los 28 muestreados presentaron un promedio superior a 1 mz/pl , pero 5 mostraron mz/pl inferiores a 0.75 (Cuadro 2, Figura 2).

Sin embargo, a pesar que los componentes individuales de rendimiento (pl/m^2 , mz/m^2 , mz/pl y $p1g$) muestran distribuciones normales de frecuencia, el rendimiento y el peso promedio de mazorcas ($pesmz$) muestran distribuciones que aparentan caracterizar 2 poblaciones distintas de sistemas de producción de maíz. $Pesmz$ refleja la misma tendencia que rendimiento debido a que es una variable calculada entre el rendimiento y el número de mazorcas por unidad de área.

Una de las poblaciones agrupa a más del 70% de los casos pero tiene rendimientos y $pesmz$ muy bajos (inferiores a las 2.0 t/ha y 50 g/mz), mientras que la otra, con una muy pequeña proporción de los casos, tiene rendimientos y $pesmz$ superiores a 6.0 t/ha y los 150 g/mz (Figura 2). Lo interesante es la aparente ausencia de agricultores de rendimiento medio dentro de los seleccionados en estos diagnósticos. En el caso de rendimiento y $pesmz$, está claro que la media y la desviación estándar mostradas no son los estadísticos apropiados para definir a la población (Figura 2).

Es interesante especular sobre las posibles causas y explicaciones de esta aparente discrepancia entre las distribuciones relativas de frecuencia entre rendimiento y sus componentes. A pesar de distribuciones normales para los componentes individuales de rendimiento, este muestra junto con el peso de las mazorcas una aparente discontinuidad en su distribución, enfatizando la aparente existencia de 2 poblaciones distintas de sistemas de producción de maíz.

Relación entre Rendimiento y sus Componentes

La Figura 3 muestra la relación entre rendimiento y sus componentes (pl/m^2 , mz/m^2 , mz/pl , biomasa, índice de cosecha) de los 28 agricultores muestreados. En las gráficas se muestra con línea punteada regresión lineal o curvilínea entre las variables, aunque en algunos casos la regresión no es la mejor representación de los datos. En caso de las regresiones lineales, estas se forzaron a pasar por el origen, ya que sin plantas no hay mazorcas, y por tanto no hay biomasa ni rendimiento. El rendimiento mostró una relación lineal con el peso de mazorca

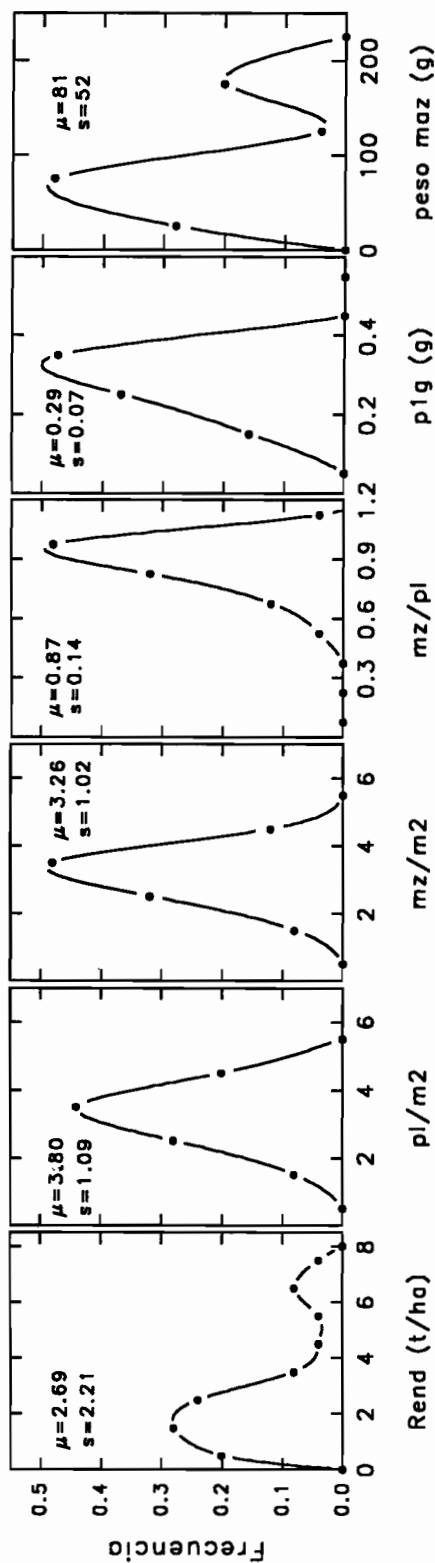


Figura 2. Distribución de frecuencias para rendimiento de grano, densidad final de plantas y mazorcas a la cosecha, el número de mazorcas por planta, el peso de 1 grano y el peso promedio de mazorca para diagnósticos dinámicos agronómicos efectuados en 1992 en 28 campos de maíz en Centro América (μ se refiere a la media y s la desviación estándar).

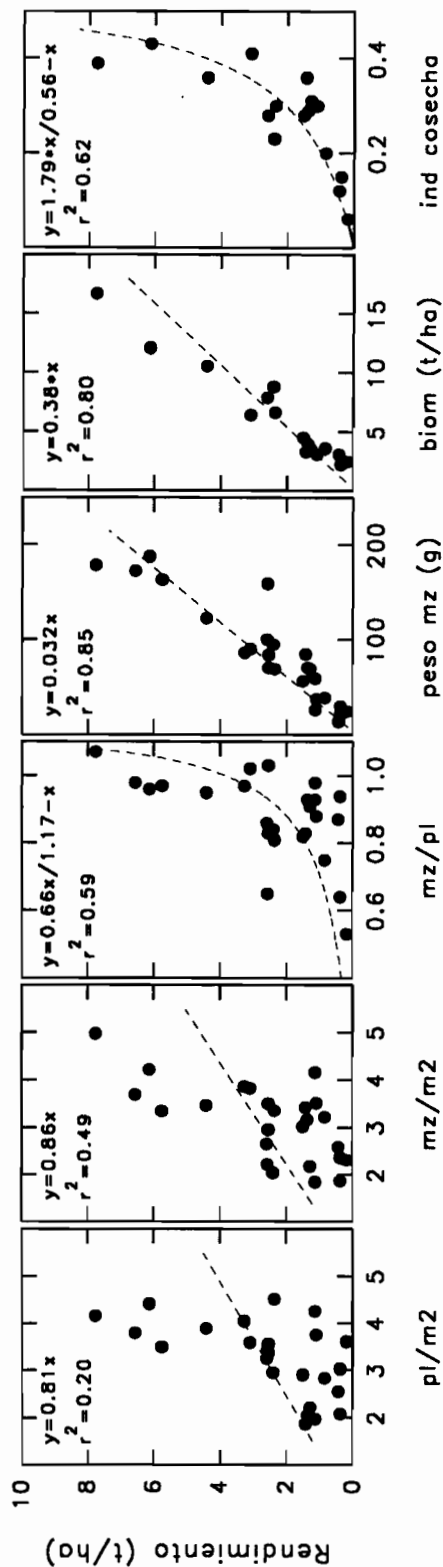


Figura 3. Relación entre rendimiento de grano (t/ha) y la densidad final de plantas (pl/m²) y mazorcas (mz/m²), el número de mazorcas por planta (mz/pl), el peso promedio de mazorcas, la biomasa final y el índice de cosecha para diagnósticos dinámicos agronómicos efectuados en 1992 en 28 campos de maíz en Centro América. Las líneas reflejan las regresiones usadas en cada caso.

($r^2=0.85$), con mz/m^2 ($r^2=0.49$) y biomasa final ($r^2=0.80$). Aunque la densidad final mostró una relación pobre con rendimiento, sí lo hizo con mz/m^2 ($r^2=0.90$, datos no mostrados). La relación entre rendimiento y mz/pl e índice de cosecha mostró una relación curvilínea con un punto de curvatura cercano a los 2.0-2.5 t/ha.

Es aparente que rendimientos superiores a 2.0-2.5 t/ha son alcanzables con mz/pl por encima de 0.85 o índice de cosecha superior a 0.35. Rendimientos inferiores a 2.0-2.5 t/ha dependen fuertemente de una proporción alta de plantas infértiles y por ende una caída drástica en el índice de cosecha. Estas relaciones parecen sugerir que existen dos aparentes poblaciones de sistemas de producción de maíz, una representando a la gran mayoría pero con rendimientos inferiores a 2.0 t/ha, caracterizados por una baja densidad de plantas y mazorcas y en especial por una proporción alta de plantas infértiles (mz/pl por debajo de 0.80) y por ende con bajo índice de cosecha (inferior a 0.30).

Tasa de Pérdida de Población Durante el Ciclo

La Figura 4 muestra la dinámica promedio de población de plantas y mazorcas a través del ciclo usando una escala de tiempo estandarizado de 0 a 100 (0=siembra, 100=cosecha). El número de pl/m^2 cae fuertemente 20% de la siembra al establecimiento (VE) de 5.30 a 4.21. No se logro detectar ninguna correlación significativa entre esta pérdida y las distintas calificaciones de limitaciones hechas durante estas etapas en los diagnósticos (datos no mostrados). Después del establecimiento, 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.

Relación entre Número Hojas Verdes por Debajo de la Mazorca y Peso de Grano

Se encontró una relación significativa entre el número de hojas verdes por debajo de la mazorca a la floración y el peso final de grano (Figura 5). Un número de hojas inferior a 4-5 parece ser indicativo de limitaciones al llenado de grano. Estos datos muestran que el número de hojas verdes puede ser un indicador útil para diagnósticos temprano en el desarrollo del cultivo, ejemplo a la floración. Otros autores han encontrado relaciones fuertes y significativas entre la senescencia de las hojas y el estrés sufrido por el cultivo (Wolfe *et al.*, 1988; Bolaños y Edmeades, 1993).

Relación entre Potencial Ambiental y Variabilidad

Datos tomados en 5 o 10 estaciones lineales permiten hacer estimaciones de la variabilidad interna de algunos componentes de rendimiento en las parcelas de maíz muestreadas.

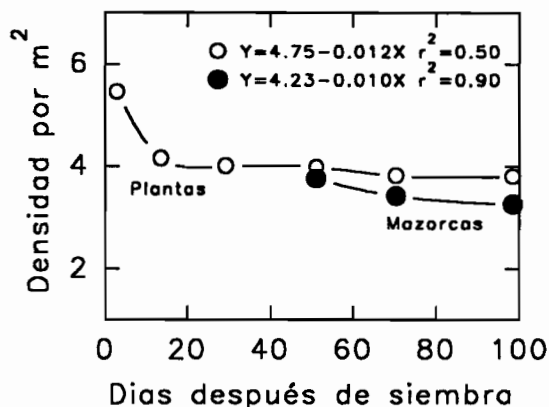


Figura 4. Dinámica promedio de la densidad de plantas y mazorcas a través del ciclo del maíz para los 28 agricultores muestreados en 1992. Para comparación, las mediciones fueron estandarizadas a la misma escala temporal con 0=siembra y 100=cosecha.

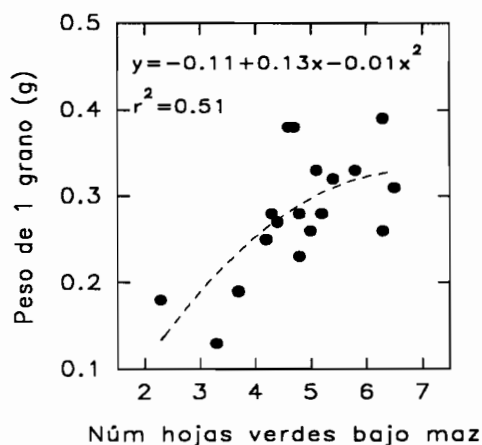


Figura 5. Relación entre el número de hojas verdes por debajo de la mazorca a la floración y el peso final de grano en 28 campos de maíz en Centro América.

Las Figuras 6 y 7 muestran la relación entre la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV %) con el promedio para pl/m^2 y rendimiento para los 28 agricultores muestreados. Para la densidad de plantas la desviación estándar aumenta linealmente con la densidad. Sin embargo, el CV no mostró

ninguna relación obvia a través de un rango de 1.5 a 5.5 pl/m² con la densidad, manteniéndose relativamente constante alrededor del 20% (Figura 6). Para rendimiento, la desviación estándar también aumenta linealmente con el potencial ambiental. Sin embargo, el CV muestra una fuerte relación curvilínea con el potencial de rendimiento (Figura 7). En ambientes con rendimientos bajos, el CV es muy alto, entre 40-60%, pero se reduce drásticamente aproximadamente al 20% con rendimientos superiores a 2.5-3.0 t/ha. Barreto y Raun (1990) encontraron una reducción lineal del CV con el rendimiento con datos

de 55 ensayos de agronomía y mejoramiento de maíz en Centro América ($r=0.76^{**}$). Crossa *et al.* (1993), con datos de 2067 ensayos internacionales de maíz de CIMMYT, reportan una relación curvilínea entre CV y rendimiento muy similar a la Figura 7.

Nuevamente, parece existir una distinta relación que gobierna los rendimientos inferiores a 2.0-2.5 t/ha que aquella que gobierna a rendimientos superiores a este nivel, tanto en sus características agronómicas como estadísticas.

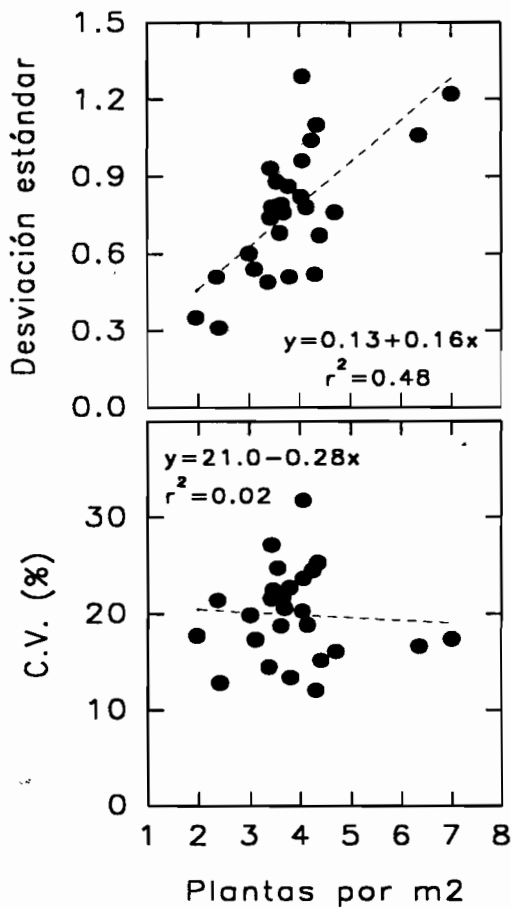


Figura 6. Relación entre la densidad final de plantas (pl/m²) promedio y la desviación estándar (t/ha) y coeficiente de variación (%) (CV) respectivos en base a muestreos de 5 o 10 estaciones lineales de 1 surco de 3 o 5 metros en 28 agricultores en Centro América.

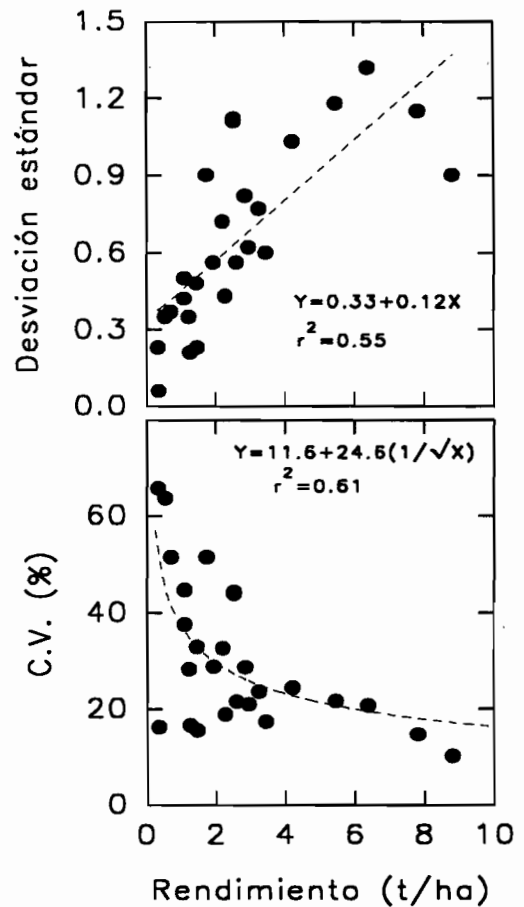


Figura 7. Relación entre el rendimiento (t/ha) promedio y la desviación estándar (t/ha) y coeficiente de variación (%) (CV) respectivos en base a muestreos de 5 o 10 estaciones lineales de 1 surco de 3 o 5 metros en 28 agricultores en Centro América.

CONCLUSIONES

1. El monitoreo dinámico confirmó los datos encontrados en 1990 en parcelas experimentales en campos de agricultores en los ensayos regionales de P y S y leguminosas intercaladas (Bolaños y Barreto, 1991). Se encontró una fuerte dependencia del rendimiento final con la densidad final de plantas y mazorcas, con el peso de mazorcas y con la biomasa final.
2. Los componentes de rendimiento pl/m^2 , mz/m^2 , mz/pl y peso de 1 grano mostraron distribuciones de frecuencia normales, siendo descritas adecuadamente con la media y la desviación estándar.
3. Sin embargo, el rendimiento y el peso de mazorca mostraron aparentemente la existencia de 2 poblaciones distintas de agricultores, uno de mayor proporción pero bajos promedios, y otra de menor proporción pero promedios elevados.
4. Los datos sugieren que parece existir un rendimiento crítico cercano a 2.0-2.5 t/ha que separa estas 2 poblaciones. Rendimientos inferiores a 2.0-2.5 t/ha están 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 cerca de 1 mz/pl e IC superiores a 0.35.
5. La densidad de plantas y mazorcas decrece casi linealmente a medida que el ciclo del cultivo avanza. La densidad promedio de siembra fue de 5.30 pl/m^2 con una pérdida de 20% para 4.20 pl/m^2 al establecimiento (estadio VE) y 6% de reducción adicional hasta la cosecha, para 3.80 pl/m^2 al final. También se detectó una reducción de mazorcas de 3.8 mz/m^2 a la floración a menos de 3.3 mz/m^2 a la cosecha final.
5. 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.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Edith Tello por la paciente labor de entrada de datos.

REFERENCIAS

- Barreto, H. y W. Raun. 1990. La precisión experimental de los ensayos regionales con maíz (*Zea mays* L) a través de Centro América. pp. 11-24 en Análisis de los Ensayos Regionales de Agronomía 1989, CIMMYT, Guatemala.
- Beavoul, V. 1992a. 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.
- Beavoul, V. 1992b. Diagnóstico agronómico y experimentación en las condiciones de producción campesinas. Memoria del Seminario-Taller de Catacamas, Honduras. CIRAD-SAR No. 73/92, del 9 al 20 de Noviembre de 1992.
- Bolaños, J. 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.
- Crossa, J., S. Chapman y H. Barreto. 1993. Pattern analysis and parameters of experimental precision of historical maize data. CIMMYT, México, Draft.
- 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.
- 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/ICA-ALA 88/23. San José, Costa Rica, 131 p. 131.

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.

Wolfe, D., D.W. Henderson, T.C. Hsiao and A. Alvino. 1988. Interactive water and nitrogen effects on leaf senescence in maize. Agron. J. 80:859-864.

Cambio Tecnológico e Investigación en Fincas en el Departamento de Atlántida, Honduras

Gustavo Saín y Reina Matute¹

RESUMEN

Este trabajo realiza un análisis comparativo del cambio tecnológico ocurrido en La Ceiba, Honduras entre 1981-1991. En particular se analizan: 1. El cambio en la importancia relativa de las épocas de producción de maíz; 2. La difusión del sistema de producción de maíz en relación con *Mucuna*; y 3. El cambio en las técnicas de producción de maíz tanto en primera como en postrera. El incremento en importancia relativa de la siembra de postrera parece estar asociado con la difusión del sistema de aboneras el cual permite a los agricultores aumentar su ingreso neto medio y disminuir los riesgos de producción. Los cambios en las técnicas de producción de maíz reflejan: 1. Que los agricultores reducen sus costos de producción ajustando las técnicas de acuerdo a las variaciones en los precios relativos de los insumos y servicios; 2. Las técnicas recomendadas por los sistemas de investigación y extensión no se adaptaron a los cambios relativos en precios lo que parece haber limitado su adopción a solo un sector de agricultores; y 3. Por lo anterior resulta que las tasas de retorno a la inversión en investigación agrícola oscilaban entre el 8 y 16%.

El Departamento de Atlántida uno de los cuatro que conforman el Litoral Atlántico de Honduras. Aunque globalmente el Litoral Atlántico no es una de las regiones más importantes en lo que a producción de maíz se refiere (su contribución a la producción nacional en los últimos 5 años fué del 12%), su importancia radica en el hecho de que es una de las tres regiones que en Honduras produce cantidades importantes de maíz en la época de postrera (Diciembre-Abril) en donde la escasez de lluvias reduce significativamente la producción nacional de este cultivo. Así, durante el mismo período el Litoral Atlántico produjo el 23% del total nacional del maíz de postrera.

Este trabajo analiza un conjunto de cambios en los patrones de cultivo de maíz ocurridos en los últimos 10 años en el Departamento de Atlántida. Examina sus posibles causas y consecuencias a la luz de los cambios ocurridos en las circunstancias socioeconómicas y estima los retornos económicos

¹ G. Saín es economista regional para Centro América y el Caribe del CIMMYT y R. Matute es economista agrícola de la Secretaría de Recursos Naturales de Honduras..

atribuibles al programa de investigación en fincas que tuvo lugar en la región durante el período 1981 - 1986.

Los Cambios en el Sistema de Producción de Maíz en el Período 1981-1991

Durante la década de los 80 la región experimenta cambios importantes en lo que se refiere al sistema de producción de maíz. En este trabajo se analizan: 1) El cambio en la importancia relativa de las épocas de producción de maíz, 2) La difusión de un nuevo sistema de producción de maíz en rotación con *Mucuna* y 3) El cambio en las técnicas de producción de maíz tanto en primera como en postrera.

En lo que hace al cultivo del maíz, existen en el área dos épocas de producción bien definidas: La primera, también llamada de primavera y la postrera o de verano. En gran medida la capacidad para producir maíz en cada época está determinada por el régimen estacional de lluvias predominantes. En el área el régimen de lluvias es tal que permite la siembra y cultivo de ambas estaciones con diferentes grados de éxito. La Figura 1 muestra el índice estacional de lluvias durante los últimos 20 años (1972-1990). Las lluvias inician su ciclo ascendente en el mes de mayo y continúan en ascenso hasta llegar a noviembre que es el mes más lluvioso del año. A partir de allí comienzan su fase descendente hasta llegar al mes de abril. Los ciclos productivos de primera y postrera se acomodan a este régimen.

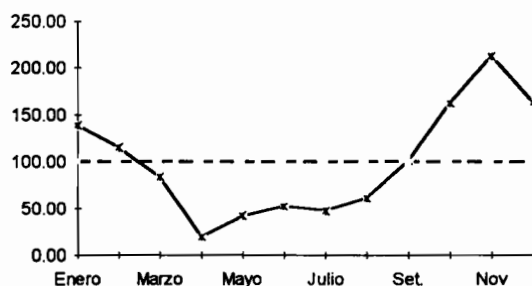


Figura 1. Patrón estacional de lluvias (mm/mes) en el Litoral Atlántico de Honduras, 1972-1990.

La siembra de primera del maíz comienza generalmente en junio-julio para ser cosechado en setiembre-octubre, mientras que la siembra de postrera se realiza en diciembre-enero para ser cosechado en abril-mayo. La estación de primera o primavera fué tradicionalmente la más importante en lo que a producción de maíz en el Litoral Atlántico se refiere, a mediados de la década de los 70, principios de los 80 solo el 35% de la producción total de la región se producía en postrera (Cuadro 1). Sin embargo, la situación ha tendido a revertirse ya que la participación relativa de la postrera en la producción ha crecido en los últimos 15 años a razón de casi 1% anual hasta alcanzar más del 50% de la producción total en las últimas tres campañas (Cuadro 1 y Figura 2). Aunque ambas épocas tienen a juicio de los agricultores, ventajas y desventajas, la siembra de postrera presenta dos ventajas bien definidas. En primer lugar la cosecha de postrera ocurre en los meses más secos del año (abril-mayo) por lo cual el maíz tiene una mejor sanidad que en primera donde se cosecha con mucha lluvia y existe el problema de pudrición de mazorca.

Una segunda ventaja de la siembra de postrera es que permite aprovechar el marcado ciclo estacional que se observan en los precios de venta del maíz. La Figura 3 muestra el índice estacional de los precios del maíz a nivel de mayorista calculado para el período 1970 - 1991.

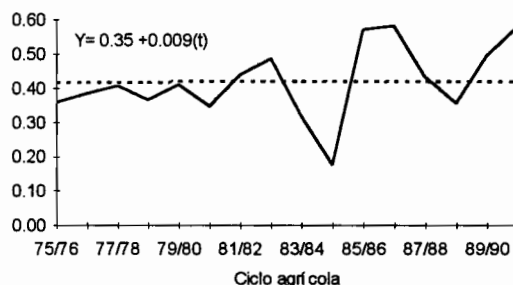


Figura 2. Importancia relativa de la superficie cultivada en postrera respecto a la superficie total cultivada con maíz en el Litoral Atlántico de Honduras,

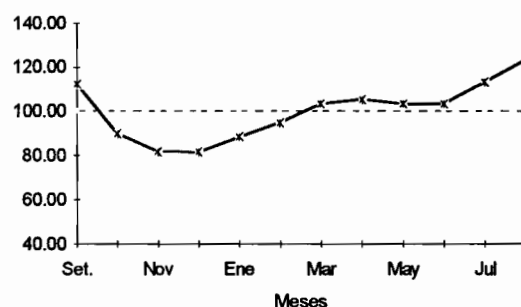


Figura 3. Patrón estacional de los precios de maíz a nivel mayorista en Honduras, 1970-1991.

Cuadro 1. Superficie cultivada, producción total y rendimientos en cada una de las dos estaciones productivas. Litoral Atlántico, Honduras, 1975/76-1990/91.

Ciclo Agrícola	Superficie cultivada ha (porcentaje)		Producción ton (porcentaje)		Rendimiento ton/ha	
	Primera	Postrera	Primera	Postrera	Primera	Postrera
75/76	7045	7045 (36)	14159	14159 (35)	2.11	2.01
76/77	8562	8562 (39)	18711	18711 (43)	1.85	2.19
77/78	10078	10078 (41)	23262	23262 (49)	1.63	2.31
78/79	10394	10394 (37)	15593	15593 (33)	1.75	1.50
79/80	8152	8152 (41)	9468	9468 (49)	0.84	1.16
80/81	13817	13817 (35)	23071	23071 (36)	1.60	1.67
81/82	20610	20610 (44)	30493	30493 (36)	2.04	1.48
82/83	14951	14951 (49)	21529	21529 (52)	1.25	1.44
83/84	9636	9636 (32)	20892	20892 (36)	1.79	2.17
84/85	6581	6581 (18)	13231	13231 (19)	1.83	2.01
85/86	18958	18958 (57)	26876	26876 (50)	1.92	1.42
86/87	18958	18958 (58)	26876	26876 (58)	1.41	1.42
87/88	22684	22684 (43)	28970	28970 (38)	1.61	1.28
88/89	16672	16672 (36)	22516	22516 (40)	1.14	1.35
89/90	17370	17370 (50)	23427	23427 (53)	1.20	1.35
90/91	23190	23190 (58)	29659	29659 (54)	1.52	1.28

El exceso estacional de oferta a nivel nacional hace caer los precios al por mayor durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, época de cosecha de la primavera, a niveles hasta de un 20% por debajo del promedio anual. A partir de enero los precios comienzan a subir hasta alcanzar un pequeño pico en abril, a partir de ese momento descienden a medida que ocurre la salida de la cosecha de postrera en mayo-junio pero de todas maneras se mantienen por arriba del promedio anual. La amplitud del ciclo estacional a nivel de mayorista es de un 25% para el período considerado.

Este ciclo estacional a nivel de precios al mayorista se repite a nivel de agricultor donde la estacionalidad es más marcada ya que una de las funciones del proceso de comercialización es justamente la reducción de la estacionalidad de precios a través del arbitraje estacional asociado con el almacenamiento. Aunque no se dispone de una serie de precios mensuales tan completa como aquella de los precios a nivel de mayorista, la estacionalidad de los precios a nivel de finca para el período 1990-1991 presenta el mismo patrón estacional que a nivel mayorista con los precios de postrera superando al promedio en 23% mientras que para la siembra de primavera se encuentran un 25% por debajo.

La desventaja de la siembra de postrera está asociado a la distribución y manejo del agua que afecta tanto a los niveles de rendimiento y a la posibilidad de fracaso de la cosecha. Sin embargo el aumento de la importancia relativa de la producción de postrera se debe principalmente al incremento relativo del área cultivada más que a aumentos relativos de la productividad (Cuadro 1).

El aumento relativo del área cultivada en postrera es causado por la difusión de la siembra de maíz con frijol de abono (*Mucuna aterrima* sp) en el sistema llamado "abonera". El uso del frijol de abono en el sistema llamado de abonera muestra un significativo incremento en el área en la década de los 80. Así por ejemplo, en 1980 menos del 5% de los agricultores utilizaban el sistema, mientras que en 1989, este porcentaje superaba el 60% (Buckles *et al.*, 1992) La curva de difusión del sistema de abonera en el Dpto. de Atlántida muestra que entre 1981 y 1990 la difusión fue casi lineal a una tasa de crecimiento anual de casi 7%.

El sistema de abonera le posibilita al agricultor del área realizar un cultivo de postrera más seguro y más rentable debido a un mejor manejo de la humedad, al

incremento de la fertilidad natural del suelo y a un ahorro de mano de obra en la preparación del terreno. A nivel de finca, la incorporación del sistema de abonera le ha permitido al agricultor aumentar considerablemente el área cultivada con maíz en postrera ya sea aumentando el área de la parcela como el número de parcelas de maíz cultivadas. Aquellos agricultores que tienen abonera en sus fincas siembran 2 parcelas de maíz en postrera mientras que aquellos que no lo tienen sólo cultivan una parcela. El tamaño promedio de la parcela también registró diferencias significativas entre ambos grupos de agricultores. Aquellos con abonera cultivan un promedio de 2.6 has. de maíz en postrera comparado con sólo 1.9 has. que cultivan aquellos que no han adoptado el sistema de abonera (Sain *et al.*, 1992).

Cambios en la Tecnología de Producción del Maíz

Dado que a comienzo de la década de los 80, la estación de primavera era la más importante en términos de volúmenes de producción, los esfuerzos de investigación se dirigieron a aliviar los problemas predominantes en este ciclo productivo. En 1982 la Secretaría de Recursos Naturales (SRN) y CIMMYT inician un programa colaborativo de investigación en fincas cuya sede central se ubicó en la Agencia de Extensión de Jutiapa. El área de trabajo comprende el Municipio de Jutiapa localizado al este del Departamento de Atlántida. El programa colaborativo prosiguió durante el período 1983-1986. A partir de 1987, los programas de investigación y extensión continúan bajo el liderazgo de la SRN.

El análisis del cambio en las técnicas de producción de maíz de primavera se realiza en forma comparativa entre 1981 y 1991 usando la información recopilada en las encuestas de 1982 y 1992 para el área de Jutiapa solamente.

Los cambios más significativos en las técnicas de producción de maíz se registran en: 1) La forma de preparar el terreno, 2) La densidad y forma de siembra, 3) Las variedades usadas, 4) La forma de controlar las malezas; y 5) La fertilización del cultivo. El Cuadro 2 muestra los cambios principales en términos del porcentaje de agricultores que las realizan.

Se observa una significativa disminución en las quemadas, como también un aumento en el uso de herbicidas quemantes (Gramoxone) a la siembra. Se observa también que en 1991 aumentó considerablemente la siembra en hilera, se ajustó la

Cuadro 2. Principales cambios en la técnica de producción de maíz ocurridos en el período 1981-1991 en Jutiapa, Honduras.

ACTIVIDADES	1981	1991	Diferen
PREPARACION DEL TERRENO			
Chapia y quema (% de agric.)	85%	51%	- 34%
Chapia-quema-gramoxone (% de agric.)	15%	24%	+ 11%
Sin quema (% de agric.)	0%	25%	+ 25%
SIEMBRA			
Densidad promedio (plts./ha)	27500	36900	+ 37%
Variedades mejoradas (% de agric.)	11%	29%	+ 18%
FORMA DEL CONTROL DE MALEZAS			
Un control manual (% de agric.)	15%	13%	- 2%
Un control c/Gramoxone (% de agric.)	10%	21%	+ 11%
1 ^{ro} 2,4-D - 2 ^{do} manual (% de agric.)	50%	2%	- 48%
1 ^{ro} manual - 2 ^{do} Gramoxone (% de agric.)	0	42%	+ 42%
EPOCA DEL CONTROL DE MALEZAS			
Epoca del primer control			
10-20 dds (% de agric.)	9%	27%	+ 18%
20-35 dds (% de agric.)	74%	59%	- 15%
Epoca del segundo control			
20-35dds (% de agric.)	14	23	+ 9%
35-45 dds (% de agric.)	37	37	
45-55 dds (% de agric.)	17	27	+ 10%
55-65 dds (% de agric.)	29	7	- 22%
FERTILIZACION			
Fertiliza (% de agric.)	0%	24%	+ 24%
Dosis promedio de N (kg N/ha)		30	

distancia y cantidad de semilla por golpe y como consecuencia la densidad promedio de siembra aumentó en un 37% (aproximadamente 10,000 plantas/ha) durante el período. También el porcentaje de agricultores que siembran materiales mejorados se incrementó en 18%.

El control de malezas es otro componente técnico que ha sufrido cambios sustanciales no solamente en la forma en que se realiza sino también en la época en

que se hace. En general los agricultores adelantaron la época tanto del primer control (Figura 4) como la del segundo control en el caso que éste se realice. En cuanto a la forma de control se debe apuntar en primer término que el porcentaje de agricultores que realizaron un solo control aumentó en un 16% y en segundo lugar la sustitución en el uso de herbicidas. En 1981 el control químico se realizaba con base en la aplicación de herbicidas hormonales específicos para malezas de hoja ancha (2,4-D), mientras que en 1991 la forma predominante se basa en la aplicación de herbicidas quemantes (Gramoxone).

Finalmente la fertilización maíz es un componente que también ha sufrido un cambio relativo. En 1981 el porcentaje de agricultores que aplicaban fertilizantes era prácticamente nulo, mientras que en 1991 casi 25% de los agricultores aplicaban nitrógeno al maíz de primera en una dosis promedio de 30.0 Kg N/ha. La razón principal para no usar fertilizantes fue el alto costo (76% de los que no usaron) y solo un 17% consideró que no era necesario aplicar fertilizantes.

Con el fin de caracterizar el proceso de cambio tecnológico, se definen dos tipos de tecnologías de producción. La tecnología modal, compuestas por las prácticas que se usan con la mayor frecuencia tanto en 1981 como en 1991, y la tecnología avanzada, compuestas por las prácticas recomendadas por los servicios técnicos y de extensión en el área durante el período 1981-1991. El Cuadro 3 muestra las técnicas de producción que componen la tecnología modal en 1981 y 1991, y la tecnología avanzada en 1991.

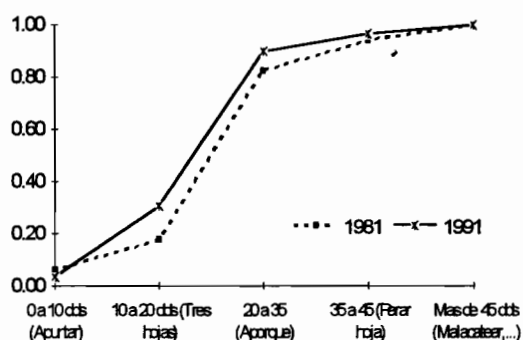


Figura 4. Distribución de frecuencias acumuladas del momento del primer control de malezas en el maíz de primavera. Jutiapa, Honduras, 1981 y 1991.

Cuadro 3. Tecnologías de producción del maíz de primavera predominantes en Jutiapa, Honduras. 1981-1991.

TECNOLOGIAS		
Modal		Avanzada
1981	1991	1991
PREPARACION DEL TERRENO		
Chapía y quema	Chapía y quema	Chapía-gramoxone
SIEMBRA		
Densidad:27500	Densidad:27500	Densidad:36900
Variedades criollas	Variedades criollas	Variedades mejoradas
CONTROL DE MALEZAS		
Epoca y forma del primer control		
20-35 dds; 2-4,D	20-35 dds;manual	10-20 dds; Gramoxone
Epoca y forma del segundo control		
35-45 dds; manual	35-45, Gramoxone	Sin control
FERTILIZACION		
Sin fertilización	Sin fertilización	Fertilización nitrogenada

Dos procesos fundamentales pueden ser asociados a los cambios ocurridos en las técnicas de producción del maíz. Por un lado el proceso de investigación y extensión que la Secretaría de Recursos Naturales mantiene en el área a través de diferentes programas y por otro los procesos de investigación y extensión informales que mantienen los agricultores en respuesta a problemas y oportunidades percibidos.

En particular, los cambios en los precios relativos de factores e insumos que inducen a los agricultores a buscar aquellas técnicas que minimizan el costo de producción y de esa manera determinan el sentido e intensidad de factores del cambio tecnológico. También, la oportunidad de producir en postrera cuando los precios del maíz son mayores, y de mejorar la fertilidad del suelo -volver valiente la tierra cobarde en la terminología campesina- han inducido el proceso informal de experimentación y difusión de la mucuna en el sistema de abonera.

El Programa de Investigación y Extensión en Jutiapa 1981-1986

El programa de investigación y extensión que se llevó a cabo en el área de Jutiapa entre 1981-1986 distinguió entre componentes tecnológicos de corto y de largo plazo de acuerdo a los problemas principales

y sus causas (Figura 5). El programa concentró sus esfuerzos en la búsqueda de soluciones tecnológicas para cuatro componentes de corto plazo: 1) Competencia de malezas; 2) Arreglo espacial y densidad de siembra; 3) Deficiencia de nitrógeno, y 4) Variedades; y para dos componentes de largo plazo: a) La baja intensidad en el uso de la tierra y b) la erosión del suelo. En la planificación de la estrategia experimental se consideró que los cuatro componentes, competencia de malezas, deficiencia de nitrógeno, baja densidad y arreglo espacial, y variedades de baja productividad, podían ser incorporados en un programa experimental tendiente a obtener resultados en un período relativamente corto. A su vez, estos resultados debían ser compatibles con el objetivo de largo plazo de disminuir la erosión y mejorar la intensidad de uso de la tierra.

La estrategia experimental pretendía: 1) Reducir las quemadas y sembrar en limpio mediante el uso de herbicidas quemantes (Gramoxone), 2) Aumentar la densidad de siembra y disminuir el número de semillas por golpe, 3) Obtener una recomendación para nitrógeno que fuera rentable para el agricultor; y 4) Reemplazar las variedades criollas por variedades mejoradas que fueran aceptables para el agricultor (Flores y Licona, 1985).

El Cuadro 4 resume estos componentes tecnológicos, la práctica del agricultor al comienzo del programa de investigación, los resultados principales de la investigación y las recomendaciones generadas y difundidas por el programa.

Precios Relativos de Insumos y Productos

Las tendencias de los precios relativos de productos e insumos tomando al maíz como numerario durante la década de los 80, indican que tanto la mano de obra como el Gramoxone se han abaratado en términos absolutos en 44 y 35% respectivamente, Cuadro 5. Esto es consistente con los cambios en las técnicas de producción registradas en el período. Por ejemplo, aún cuando el 2,4-D se abarató respecto al maíz se encareció respecto al Gramoxone, este cambio en la relación de precios aunado a las recomendaciones técnicas podrían explicar el alto grado de sustitución entre ambos herbicidas. Mientras que la dramática caída del precio del jornal explicaría el aumento del control manual.

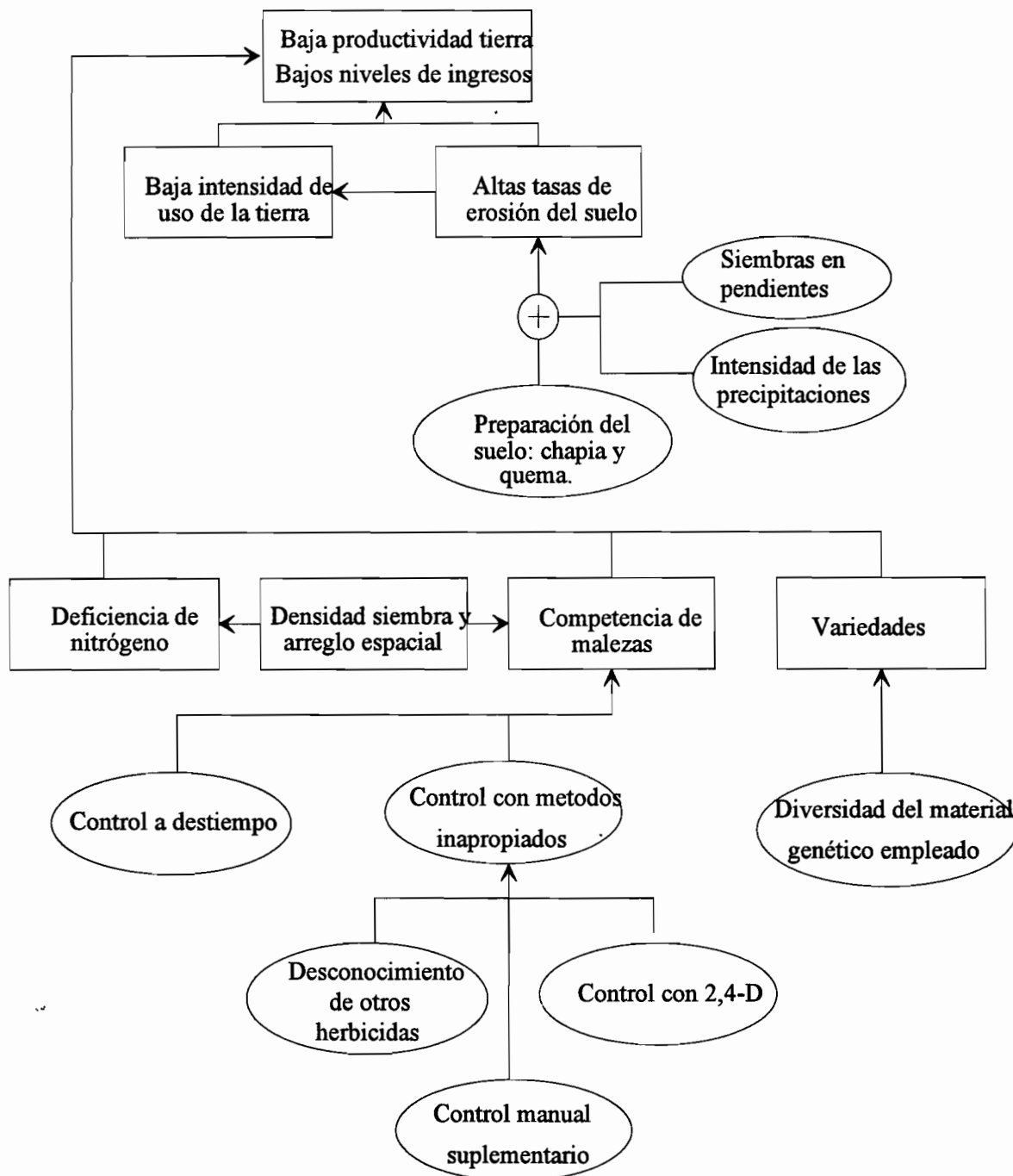


Figura 5. Esquema de problemas y causas posibles identificadas en la planificación del Programa de Investigación en Fincas. Jutiapa, Honduras.

Cuadro 4. Componentes tecnológicos, práctica del agricultor y recomendaciones generadas por el programa de investigación en fincas. Jutiapa, Honduras 1981-1991.

Componente tecnológico	Practica del agricultor (1981)	Resultados de la investigación	Recomendaciones generadas y difundidas.
Competencia con malezas	1 ^{er} control con 2,4-D a los 20-35 dds. 2 ^{do} control manual 15-20 dd 1er control	Diferentes métodos de control sin diferencias significativas en rendimientos. Se busca: menor costo.	1) Siembra en limpio. Aplicar Gramoxone a la siembra si fuera necesario 2) 1 ^{er} control con Gramoxone 15-20 dds. 3) 2 ^{do} control chapia ligera si fuera necesario.
Arreglo espacial de siembra	Siembra al cuadro al metro. Cuatro semillas por golpe. Densidad de siembra: 40000 plts/ha.	Alta rentabilidad al aumentar la densidad de siembra a 50000 plts/ha. cambiando la forma de siembra.	Siembra en hilera a 0.8 x0.6 mts. x 2-3 semillas por golpe.
Variedades	Criollas: Tusa Morada y Olotillo	Buena respuesta de variedades mejoradas adaptadas a condiciones locales: Guaymas B-101, Planta Baja, y Sintético Tuxpeño. Interacción variedad x nitrógeno significativa	Variedades mejoradas: Guaymas B-101, Planta Baja, y en especial Sintético Tuxpeño por su buena aceptación dada su cobertura de mazorca y textura del grano. Fertilización: ver más abajo.
Fertilidad. Deficiencia de nitrógeno	No se aplicaba fertilizante al cultivo de maíz.	Respuesta de variedades criollas y mejoradas a la fertilización con nitrógeno	Aplicar 60 kg N/ha. en forma de urea (130 kg/urea/ha.).
Erosión	Preparación del terreno mediante chapia y quema	Experimentación mezclada con control de malezas.	1) No quemar con fuego. 2) Preparación terreno: chapia y Gramoxone.

Cuadro 5. Cambios en los precios relativos de los productos e insumos durante 1981 y 1991 maíz como numerario.

	Precio relativo del maíz						
	Arroz	Frijol	Salario real	N (urea)	Semilla mejorada	Gramoxone	2,4-D
79-83	3.40	2.44	22.01	5.40	3.80	54.65	25.00
87-91	1.48	2.67	12.40	3.50	3.46	35.42	21.33
Δ %	-56	10	-44	-35	-9	-35	-15

El N proveniente de la urea también se abarató significativamente respecto al maíz. La poca difusión de la fertilización nitrogenada a pesar de este hecho y de la recomendación técnica de hacerlo se puede explicar por la escasez de efectivo lo que explicaría el porqué la dosis promedio de N aplicada es la mitad de la recomendada. El uso de semillas mejoradas se ve también facilitado por una reducción en sus precios relativos al de maíz de casi 10%. La falta de una mayor difusión se podría deber a cuellos de botellas en el mercado local de semillas y a la falta de efectivo por parte de los agricultores.

El Cuadro 6 muestra la estructura de costos de producción del maíz de primavera en moneda constante para las estructuras tecnológicas modales de

1981, 1991 y la de avanzada en 1991. La mayoría de los agricultores, representados por la moda, ajustaron su tecnología de manera de reducir el total de costos variables en un 23%, mientras que aquellos que adoptaron la tecnología avanzada los aumentaron en un 8%. En términos de rentabilidad, la tecnología avanzada muestra beneficios brutos y netos significativamente superiores a aquellos representados por la tecnología modal. La tasa marginal de retorno (TMR) de pasar de la modal a la avanzada es de 3.17 o 317% lo que indica que debe haber limitantes externos para la adopción de este nivel tecnológico.

El Cuadro 7 muestra la intensidad de factores trabajo y capital por unidad de tierra y de producto usados por los diferentes niveles tecnológicos. Es de remarcar el aumento en el uso de la mano de obra por unidad de tierra que experimenta la tecnología modal entre 1981 y 1991, y el aumento en el uso de capital por unidad de tierra que hace la tecnología avanzada.

Como consecuencia la relación capital/trabajo se mantiene a un nivel de 0.10 para la tecnología modal en ambos periodos y aumenta a 0.80 para la tecnología avanzada en 1991. La intensidad de uso de capital también se manifiesta cuando se mide el capital por unidad de producto, relación que es mayor para la tecnología avanzada en 165% respecto a la tecnología modal en 1991.

Estas relaciones parecen indicar distintos patrones de adopción en el área tal como se ilustra en la Figura 6. Los agricultores se encontraban en el punto A con una relación de factores capital/trabajo igual a 0.1 y un costo dado por Co . Dado el cambio en las relaciones de precios, la mayoría ajusta su técnica y se mueve al punto B manteniendo la relación de factores pero reduciendo el costo a $C1 < Co$. Algunos, sin embargo adoptan la tecnología recomendada, representada por el punto C, que tiene una relación de factores más intensiva en capital y un costo $C2 > Co$ y $> C1$. Es probable entonces, que la adopción de tecnología avanzada estuvo limitada por el encarecimiento de los insumos relativo a la mano de obra y a una mayor restricción al acceso al mercado de capitales. Es decir la adopción ocurre en un sector de agricultores con acceso a fuentes de capital que pueden aprovechar la alta tasa de rentabilidad que otorga la tecnología.

Cuadro.6. Estructura de costos de producción de maíz de primera por unidad de tierra bajo diferentes regímenes tecnológicos en 1981 y 1991. Jutiapa Dpto. Atlántida, Honduras.

ACTIVIDADES	Costos en moneda constante (L/ha.)		
	Modal		Avanzada
	1981	1991	1991
PREPARACION DEL TERRENO	152.2	87.6	121.05
Chapia (Chapia y quema)	152.2	87.6	87.6
Gramoxone	0	0	22.5
Aplicación Gramoxone	0	0	10.95
SIEMBRA	49.4	30.9	89.64
Mano de obra siembra	45.66	26.28	68.49
Semilla	3.74	4.62	21.15
CONTROL DE MALEZAS	111.71	121.04	33.44
Control manual	76.1	87.6	0
Gramoxone	0	22.49	22.49
2,4-D	16.58	0	0
Mano de obra aplicacion	19.03	10.95	10.95
FERTILIZACION	0	0	95.1
Nitrógeno (de urea)	0	0	73.2
Aplicación de fertilizante	0	0	21.9
TOTAL COSTOS	313.31	239.54	339.21
VARIABLES RENDIMIENTO (kg/ha.)	1400	1400	2700
PRECIO DE CAMPO MAIZ (L/kg.)	0.25	0.32	0.32
BENEFICIOS BRUTOS	350	448	864
BENEFICIOS NETOS (excluyendo tierra)	36.7	208.47	524.79

Cuadro 7 . Proporción de factores bajo tres patrones tecnológicos en 1981 y 1991. Jutiapa, Dpto. Atlántida, Honduras.

	Niveles tecnológicos y años		
	Modal		Avanzada
	1981	1991	1991
Mano de Obra (jornales/ha.)	38.5	48.5	39.0
Mano de Obra (L/ha.)	293.0	212.4	170.8
Capital (L/ha.)	20.3	27.1	139.3
Capital/mano de obra (L/jor)	0.5	0.6	3.6
Relación capital/mano de obra	0.1	0.1	0.8
Rendimiento (T/ha.)	1.4	1.4	2.7
Capital/producto (L/kg.)	14.5	19.4	51.6
Mano de obra/producto (jor/kg.)	27.5	34.6	14.4
Mano de obra/producto (L/kg.)	209.3	151.7	63.3

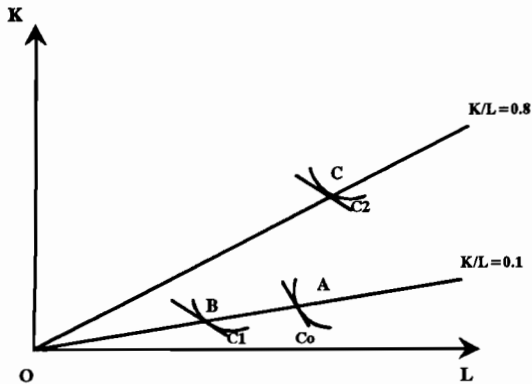


Figura 6. Cambios en intensidad en el uso de factores bajo distintos patrones tecnológicos en el Litoral Atlántico de Honduras 1981 - 1991.

LA RENTABILIDAD DEL PROGRAMA DE INVESTIGACION EN FINCAS

La evaluación de los impactos económicos de la investigación en componentes agronómicos requieren que se cumplan tres condiciones necesarias para que los cambios en las prácticas o técnicas de producción a nivel del agricultor puedan ser atribuidos a los resultados de un programa experimental (Traxler, 1990; Harrington *et al.* 1992). Estas tres condiciones son: a) La investigación debe haber llevado al desarrollo o descubrimiento de una práctica de manejo mejorada incluida como parte de la recomendación, b) Los cambios en las prácticas por parte de los agricultores deben ser consistentes con los cambios promovidos por la recomendación; y c) Debe existir alguna evidencia que apoye la causalidad entre el cambio en la práctica por los agricultores (adopción) y la recomendación del programa (Traxler, 1990).

En caso de esta última condición, Traxler sugiere tres criterios para juzgar la causalidad: i) La práctica recomendada y la práctica del agricultor debe haber cambiado de la misma manera durante el período bajo estudio, ii) la disseminación de la recomendación debe preceder en el tiempo al cambio de práctica por los agricultores; y iii) debe resultar improbable que los agricultores hubieran desarrollado el cambio en las prácticas sin los resultados del programa de investigación. (Harrington *et al.*, 1992)

En el caso del programa de investigación en fincas de Jutiapa no cabe ninguna duda que el desarrollo de la tecnología de avanzada cumple con los tres

requisitos mencionados de causalidad. La tecnología de avanzada en 1991, responde claramente a las dos primeras condiciones. En cuanto a la tercera condición se debe notar que la investigación campesina estuvo concentrada en desarrollar alternativas para posibilitar la producción en postre y conservar el suelo mediante el desarrollo del sistema de abonera (Buckles *et al.*, 1993). Más aún, la técnica de producción modal en 1991, también puede atribuirse a una adaptación natural del empresario campesino a las señales del mercado.

Los Beneficios Económicos Relacionados al Programa de Investigación

Los beneficios netos por unidad de tierra asociados a los componentes tecnológicos se calculan como:

$$B_i = \Delta[R_i P_m - C_i] H_i S.$$

donde ΔR_i y ΔC_i representan el incremento en rendimientos del maíz y en costos que varían por unidad de tierra inducidos por la adopción de la alternativa *i*-ésima y P_m es el precio del maíz. H_i representa la proporción neta de la superficie total de maíz dentro del dominio de recomendación (s) que es cultivada con la alternativa *i*-ésima. Para aquellas alternativas que ahorran costos sin modificar los rendimientos $\Delta R_i=0$ por lo que los beneficios netos se reducen a:

$$B_i = \Delta C_i H_i S.$$

La proporción de la superficie de maíz cultivada con la alternativa *i*-ésima se debe estimar en forma neta de aquella proporción que hubiera existido si el programa de investigación no se hubiera llevado a cabo. El criterio adoptado en este trabajo sigue los lineamientos de Lu (1981), y Martínez y Sain (1983) y se ilustra en la Figura 7.

Dada una curva de adopción estimada y una hipotética sin el programa, la proporción neta atribuible a los efectos del programa está dada por las áreas A, B, y C. Dado que no es posible observar estas áreas, ellos se aproximan mediante la elección de un punto de corte T^* y la estimación de las áreas A y D. En este caso la proporción neta H_i se calcula como:

$$H_i = h(t) - h(t_1)$$

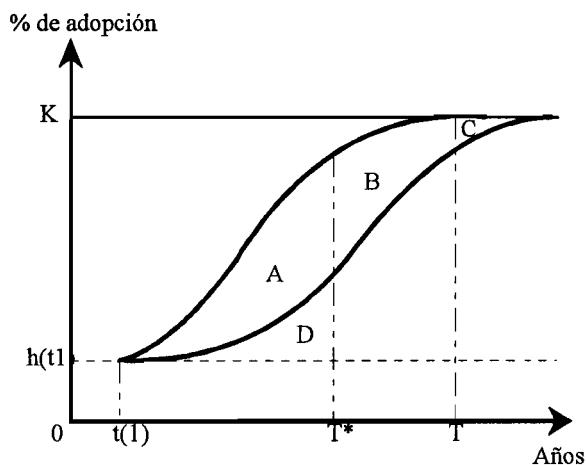


Figura 7. Estimación del patrón neto de adopción de una nueva alternativa tecnológica.

donde $h(t)$ y $h(t_1)$ es la proporción de la superficie total cultivada estimada para el año t y para el año en que se inició el programa respectivamente. El Cuadro 8 presenta los valores de los parámetros y las curvas de adopción estimadas para los componentes tecnológicos que pueden atribuirse al programa de investigación y extensión. El máximo porcentaje de adopción esperado de cada alternativa se estimó conservadoramente en un 50% del total de la superficie de maíz en el área. Para estimar los valores de H_i se toma como punto de corte el año 1993, es decir los beneficios se calculan solamente hasta ese año.

El Cuadro 9 resume los presupuestos parciales para los tres componentes que incrementan los rendimientos a través de un aumento en la inversión

por unidad de tierra, y del componente malezas que impacta a través de una reducción en costos que varían.

Los aumentos en rendimientos de maíz para los tres primeros componentes se calcularon de los rendimientos experimentales promediados a través de sitios y años. Los promedios se ajustaron hacia abajo por un 10% para reflejar los rendimientos que se pueden esperar a nivel de agricultor. El incremento medio de rendimientos de los componentes fué de 360, 460 y 505 kg/ha. para la densidad, variedad y nitrógeno respectivamente. Tanto los niveles absolutos como los incrementos son razonables a nivel del agricultor.

Para la obtención de los beneficios netos se emplearon precios de tendencia de largo plazo ajustados cuando correspondía para reflejar la amplia estacionalidad de los precios del maíz. Todos los precios se deflacionaron por el Índice General de Precios al Consumidor (IGPC). Los precios de tendencia se tomaron como el promedio del período 1987-1991, período en el cual la política económica de Honduras cambia bajo la influencia del ajuste estructural. El precio de tendencia en moneda nacional (Lempira) se convierte a dólares a una tasa de cambio de 4.14 Lemp/1\$ que es el promedio de la tasa de cambio en el mercado libre para el período 1987-91. Los precios de insumos comprados reflejan precios reales de largo plazo a nivel de campo. Los insumos no comprados así como los servicios reflejan los costos de oportunidad.

Cuadro 8. Parámetros de adopción estimados.

Componentes tecnológicos	hi 1981	hi 1991	K	Función logística estimada: $Y = K[1 + \exp(-a + b t)]^{-1}$
1.Arreglo espacial-densidad	0.04	0.31	0.5	$Y = K[1 + \exp(-2.74 + 0.29 t)]^{-1}$
2.Variedad	0.11	0.29	0.5	$Y = K[1 + \exp(-1.42 + 0.16 t)]^{-1}$
3.Fertilización	0.00	0.24	0.5	$Y = K[1 + \exp(-9.36 + 0.84 t)]^{-1}$
4.1.Gramoxone	0.09	0.2	0.5	$Y = K[1 + \exp(-1.63 + 0.11 t)]^{-1}$
4.2 Manual y Gramoxone	0.00	0.22	0.5	$Y = K[1 + \exp(-9.34 + 0.83 t)]^{-1}$
5.Preparación terreno	0.00	0.25	0.5	$Y = K[1 + \exp(-9.36 + 0.85 t)]^{-1}$

Cuadro 9. Presupuesto parcial para los componentes tecnológicos involucrados en el programa de investigación.

(a) Componentes que afectan los rendimientos

	Arreglo y densidad		Variedad		Fertilización nitrogenada	
	ADo	AD1	Vo	V1	No	N1
Rendimiento promedio (Kg/ha)	1430	1789	2540	2996	2566	3072
Beneficios brutos (\$/ha)	71.5	89.45	127	149.8	128.3	153.6
Total costos que varían (\$/ha)	5.44	9.01	1.8	5.25	0	21.52
Beneficios Netos (\$/ha)	66.06	80.44	125.2	144.6	128.3	132.1
Incremento Beneficios Netos (\$/ha)		14.38		19.35		3.78

(b) componentes que solo afectan los costos que varían

	1er. control con Gramoxone		1er. control manual y 2do con Gramoxone	
	Go	G1	Mo	M1
Total costos que varían (\$/ha)	13.11	7.24	13.11	12.64
Incremento Beneficios Netos (\$/ha)		5.87		0.47

Los precios usados fueron: Maíz 0.05 \$/kg; Nitrógeno 0.29 \$/kg; Semilla criolla 0.12 \$/kg; Semilla mejorada 0.35 \$/kg; Mano de obra 1.03 \$/jornal; 2,4-D 1.92 \$/lt; Gramoxone 3.62 \$/lt. El precio del maíz refleja el precio de campo, es decir el precio de venta a nivel de agricultor menos los costos de cosecha, transporte y desgrane pagados por el agricultor (CIMMYT, 1988). Además se lo ajusta para tener en cuenta la estacionalidad de los precios de maíz a nivel de agricultor (Sain *et al.*, 1992).

Cuadro 10. Flujo de beneficios netos atribuibles al Programa de Investigación en Fincas en Jutiapa, Honduras 1983-1993.

Años	Densidad	Variedad	Fertilización	Gramoxone	Man. y Gram	TOTAL
1983	0	0	0	0	0	0
1984	411	480	4	85	0	980
1985	908	989	13	176	2	2087
1986	1493	1524	35	271	4	3326
1987	2161	2078	84	371	9	4703
1988	2896	2646	191	476	21	6231
1989	3674	3221	410	585	46	7936
1990	4462	3796	803	698	90	9849
1991	5229	4364	1358	814	155	11919
1992	5944	4917	1931	932	226	13950
1993	6585	5450	2359	1053	283	15730

Con las proporciones netas de adopción y los beneficios netos por unidad de tierra se procedió a estimar el flujo de beneficios netos del programa, considerando que dentro del área de influencia de la Agencia de Jutiapa se cultivan entre 2 000 y 3 000 has. de maíz de primavera. El Cuadro 10 muestra el flujo anual de beneficios netos para cada componente y el total para el programa estimado como la suma de los beneficios netos atribuibles a los componentes individuales tomando como superficie total 2 000 has., el mínimo del rango mencionado.

Los Costos Asociados al Programa de Investigación

Los costos asociados al programa de investigación en fincas de Jutiapa, pertenecen a dos categorías: Costos operativos y salarios del personal técnico implicado. Los costos operativos cubren todos los costos de sembrar, mantener, cosechar y analizar un ensayo. Los costos incluyen materiales, combustibles, mano de obra no calificada, y otros costos misceláneos. En el caso de experimentos de verificación o demostración el costo también incluye

el o los días de campo realizados en el sitio experimental. Para calcular estos costos operativos se toma el promedio de los costos internacionales por experimento presupuestados por el Programa Regional de Maíz (PRM) durante los años 1991 y 1992, ajustándolos por un índice de inflación del 3% anual para llevarlo a 1985. El costo de conducir un ensayo experimental fue calculado en 425 US\$, mientras que el costo de un ensayo de verificación fue de 287 US\$.

Los salarios del personal técnico involucrado en el programa (Cuadro 11), incluyen aquellos de los extensionistas en la Agencia de Jutiapa, investigadores de La Ceiba y Jutiapa y el coordinador de Investigación con sede en La Ceiba. Dado que el personal técnico tiene otras obligaciones laborales además del cultivo de maíz, los salarios se prorratearon de la siguiente manera: Investigadores y extensionistas 50%, coordinador y jefe de agencia de Jutiapa 30%. Los salarios nominales se deflacionaron por el IGPC para ponerlos en términos reales en Lempiras de 1985 y se convirtieron a dólares a la tasa de 4.14 Lemp/1 US\$.

Cuadro 11. Personal técnico involucrado en el Programa por año y categoría.

	1983	1984	1985	1986
Coordinador	1	1	1	1
Investigadores	4	4	5	3
Extensionistas	3	3	3	3
TOTAL	8	8	9	7

Los Retornos Económicos del Programa Experimental

Para estimar los retornos económicos del Programa se calculó la relación beneficio costo (B/C) y la tasa de retorno (R) de acuerdo a la formulación siguiente (Griliches, 1958; Kislev y Hoffman 1978; Martínez y Sain, 1983):

$$B/C = (BNPA + BNFD - CFMD0)/CIPA$$

$$R = i * (B/C)$$

donde: BNPA, son los beneficios netos pasados acumulados al período base, BNFD, son los beneficios netos futuros descontados al período base, CFMD0 y CIPA son los costos futuros de mantenimiento y los costos de investigación y extensión pasados, ambos

llevados al período base. Finalmente *i* es la tasa de descuento usada para llevar los flujos al período base.

El Cuadro 12 muestra el flujo estimado de costos para el período 1983-1993. A partir de 1987 tal como es costumbre, se estima un costo de mantenimiento del 10% del costo anual del último año del Programa.

Se fija 1986 como período base, la tasa de descuento fue estimada en 10% que es la tasa real de interés para los créditos del sector agropecuario prevaleciente durante los últimos 10 años. Sin embargo para medir la sensibilidad de los indicadores de rentabilidad a cambios en la tasa de descuento, éstos se estiman para tasas de descuento de 5, 10, y 15 % anual.

De acuerdo a los resultados ilustrados en el Cuadro 13, la inversión en el programa de investigación en fincas resulta en tasas de retorno ligeramente superior a la tasas de descuento usadas por lo que se considera que el programa es rentable bajo las tres tasas de descuentos consideradas. El punto de equilibrio entre costos y beneficios resulta a una tasa de descuento superior al 15%.

Cuadro 12. Costos anuales del Programa de Investigación en Fincas de Jutiapa, Honduras, 1983-1986.

Años	Costos anuales del programa en US\$		
	Salarios personal técnico calificado	Costos operativos anuales	Costos Totales
1983	4505	7658	12163
1984	4055	7127	11182
1985	3972	6276	10248
1986	4032	5425	9457
1987			946
1988			946
1989			946
1990			946
1991			946
1992			946
1993			946

Cuadro 13. Medidas de rentabilidad económica del programa de investigación en fincas de Jutiapa, Honduras. 1983-1993.

	Tasas de descuento		
	0.05	0.10	0.15
B/C	1.55	1.29	1.09
R	0.08	0.13	0.16

Estos resultados deben ser considerados como conservadores debido en primer lugar a que los costos de los experimentos están inflados debido al proceso de asignación de recursos entre países existentes en las redes de colaboración técnicas regionales, y en segundo término, la superficie total de maíz considerada para este cálculo fue la más conservadora de varias estimaciones. Por ejemplo, Flores y Licona (1985) estimaron el área de influencia de la Agencia sembrada con maíz en 3.000 ha. Es posible además que exista una externalidad positiva sobre la forma de cultivar el maíz en postrera ya que la mayor parte de los componentes tecnológicos difundidos pueden ser aplicados tanto en primera como en postrera.

Finalmente se debe recalcar que tampoco se han considerado los beneficios derivados de la disminución de la no quema. Estos beneficios deben ser considerables tanto para el agricultor en términos de menor erosión y mejor manejo del agua en el suelo, como también socialmente por una menor sedimentación en ríos y otras fuentes de agua.

CONCLUSIONES

Cambios importantes ocurrieron en el sistema de producción de maíz de los agricultores del Litoral Atlántico de Honduras. Estos cambios ocurrieron como respuesta a tres procesos fundamentales. Por un lado los cambios en los precios relativos de insumos y servicios hicieron que la mano de obra se abaratara en términos relativos a los insumos lo que llevó a que los agricultores ajustaran la forma de producir maíz. Por otro lado, la investigación y transferencia informal de campesino a campesino permitió la difusión del sistema de abonera lo que a su vez trajo el incremento de la superficie cultivada de maíz en postrera y mejorando así el ingreso de los agricultores del área. Finalmente, la investigación y extensión formal a través del programa de investigación en fincas difundió un conjunto de recomendaciones técnicas con un grado de éxito relativo.

Los resultados alcanzados muestran que la inversión realizada en el programa de investigación en fincas en el área de Jutiapa fue rentable con tasas de retornos que oscilan entre el 8 y 16%. Estas tasas no son tan elevadas como aquellas encontradas en otras evaluaciones de los retornos a la investigación que muestran tasas del orden del 50% o aun mayores. (Traxler, 1990; Harrington *et al.*, 1992; Martínez y Sain, 1983).

Es posible enumerar algunos factores que indudablemente influyeron para que el programa de investigación no tuviera un éxito mayor: 1)- La discontinuidad institucional que acompañó al Programa con respecto a la inestabilidad del personal técnico involucrado, 2)- Como una consecuencia de lo anterior, el Programa se interrumpe en su fase de investigación en 1986, 3)- Las dificultades técnicas intrínsecas de la zona llevaron a una baja eficiencia en la ejecución de los ensayos, especialmente en los dos últimos años del Programa; y 4) La falta de adaptación de las recomendaciones al cambiante ambiente económico que lleva a recomendar tecnologías intensivas en factores que se habían encarecido en términos relativos.

Es decir que aunque el Programa tuvo un buen diagnóstico y una planeación estratégica experimental correcta, su ejecución presentó problemas principalmente de índole institucional que afectaron su rentabilidad como proyecto de investigación. Los componentes tuvieron rentabilidades bajas, con tasas de adopción también relativamente bajas comparadas, por ejemplo con aquellas obtenidas en la misma área por el sistema de abonera que podría considerarse una alternativa tecnológica generada y difundida de campesino a campesino (Buckles *et al.*, 1992). También se debe recalcar la importancia de la dinámica de las recomendaciones en un programa de investigaciones. Toda vez que se produzcan cambios importantes en las circunstancias que enfrentan los agricultores, los investigadores deben revisar el conjunto de recomendaciones para verificar su validez a la luz de las nuevas circunstancias. De no hacerlo así puede suceder, tal como se vió en el caso de Jutiapa, que las recomendaciones no sean las más adecuadas para la mayoría de los agricultores del dominio de recomendación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen los comentarios y sugerencias realizadas a una versión previa de Daniel Buckles, Larry Harrington, Miguel Lopez Pereyra, y Robert Tripp.

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 Dpto. de Atlántida de Honduras. Mexico, D.F.: CIMMYT.

CIMMYT. 1988. "La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. Mexico D.F., Mexico: CIMMYT.

Flores G. y H. Licona. 1985. "Investigación agrícola en campos de agricultores. El caso de Jutiapa, Honduras." Trabajo presentado en la XXXI Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA), San Pedro Sula, Honduras, Marzo, 1985.

Griliches, Z. 1958. "Research costs and social returns: Hybrid corn and related innovations." *Journal of Political Economics*, vol. 66, 419-31.

Harrington, L., R. Krisdiana, and Herianto. 1992. "On-Farm research and farmer adoption of new maize technology in Malang District, Indonesia." Malang Research Institute for Food Crops - CIMMYT Asian Regional Economics Program, Bangkok, Thailand.

Kislev, Y., and M. Hoffman. 1978. "Research and productivity in wheat in Israel." *Journal of Development Studies*, Vol 14, p. 166-181.

Lu, Yao-Chi. 1981. "Ex-ante evaluation of the separate effects of research and extension." In *Evaluation of Agricultural Research. Proceeding of a Workshop sponsored by N.C-148. Miscellaneous Publication 8. Minnesota Agricultural Experiment Station, University of Minnesota.*

Martínez, J.C. y G. Sain. 1983. "The economic returns to institutional innovations in national agricultural research: on-farm research in IDIAP, Panamá." CIMMYT Economics Program Working Paper 04/83. CIMMYT, Mexico.

Sain, G., I. Ponce, y E. Borbón. 1992. "Rentabilidad del Sistema de Aboneras en el Litoral Atlántico de Honduras." Presentado en: A workshop on slash/mulch practices, CATIE, Turrialba, Costa Rica, Octubre 12-16.

Traxler, G. 1990. "The economics of crop management research." PhD dissertation, Iowa State University.

Análisis del Mercado de Rastrojo y sus Implicaciones para la Adopción de la Labranza de Conservación en El Salvador

Cristina Choto de Cerna y Gustavo Sain¹

RESUMEN

En los sistemas de producción de maíz prevalecientes en las laderas de El Salvador la interacción del sistema agrícola con el ganadero es de suma importancia para entender la decisión de los agricultores de adoptar la labranza de conservación. Aunque en estos sistemas los agricultores le dan diferentes usos a los residuos de maíz, sorgo y frijol tales como consumo animal, conservación de suelo, fuente energética y para elaborar algunos objetos del hogar como son puertas y tapezcos, el uso de los residuos del sistema como alimento para el ganado en los meses de verano es el más importante en términos de esta interacción. En aquellos sistemas donde sí ha habido adopción del uso de los residuos como mantillo, tal como es el caso de Guaymango, la cantidad de biomasa que deja el sistema es lo suficientemente grande como para permitir un uso de doble propósito de los residuos, como mantillo y como forraje. Es decir que la productividad del sistema debe ser lo suficientemente alta para permitir este doble uso como una condición necesaria para que exista adopción de la labranza de conservación. La comercialización del rastrojo en las tres áreas investigadas ha comenzado a tomar importancia entre los agricultores. Aunque los canales de comercialización no están todavía bien definidos; sí se identifica que las formas de comercializar los residuos dependen de la posibilidad de exclusión del ganado mediante cercas.

En El Salvador los cultivos maíz, sorgo, frijol son sembrados por pequeños agricultores diseminados por todo el territorio nacional con el propósito de obtener alimentos e ingresos. En los sistemas de fincas predominantes, el grano no es el único producto con un valor económico sino que los agricultores también utilizan los rastrojos del maíz, del sorgo, y del frijol ya sea internamente en la finca como un producto intermedio o como producto final vendiéndolo afuera de la finca. Los diferentes usos que los agricultores le dan al rastrojo dependen de sus necesidades y su situación económica. Aunque se ha encontrado una cierta diversidad de usos de los residuos tales como su utilización en la construcción de casas, tapezcos, puertas y como fuente energética, los tres usos más importantes en términos de su volumen e importancia económica son: 1) El uso como protección del suelo, donde los residuos forman un mantillo que ayuda a

disminuir la erosión y a conservar la humedad; 2) El uso como fuente para el consumo animal en los meses de verano, y 3) La venta fuera del predio para conseguir un ingreso extra en efectivo (Figura 1).

El agricultor debe tomar una decisión importante respecto a cuanto rastrojo debe dejar como mantillo para proteger el suelo y cuanto debe usar en los otros dos usos alternativos. Se trata de una elección entre ingresos en el largo plazo a través de un impacto sobre la fertilidad natural del suelo versus ingresos en el corto plazo a través de la ganancia de peso de los animales o alternativamente de la venta del rastrojo en el mercado. El costo de oportunidad resultante de usar los rastrojos como mantillo es un factor importante en la adopción de esta práctica de conservación por parte de pequeños agricultores ya que la mayoría de ellos usan sistemas mixtos de producción en donde el componente ganadero juega un papel importante. La subsistencia de este componente animal depende de la duración e intensidad de la estación seca, de la cantidad de los residuos de las cosechas, y de la intensidad del pastoreo. De ahí la importancia de entender los costos y beneficios que implica el uso de estos residuos como protección del suelo si se quiere introducir su uso como tal.

En El Salvador no se han realizado hasta el presente estudios que traten el tema de la disponibilidad y el manejo de los rastrojos en diferentes sistemas de cultivos, sus usos, formas de venta, precios, etc. Esta información es importante si se quiere difundir el uso de los residuos como una forma de conservación del suelo ya que el agricultor deja de percibir un cierto ingreso si decide usar el rastrojo de esa manera (Calderón *et al.*, 1991).

En este trabajo se analiza la disponibilidad de rastrojo y sus usos alternativos en dos sistemas y tres áreas de producción de maíz de El Salvador: Guaymango, Texistepeque y San Juan Opico. Las dos primeras con un sistema de maíz-sorgo y la tercera con un sistema de maíz-frijol. Los objetivos específicos del estudio son: 1) Entender mejor los sistemas de producción basados en el cultivo de maíz

¹ C. Choto pertenece a la Unidad de Socioeconomía del CENTA y G. Sain es Economista Regional del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

en cuanto a su producción de grano y rastrojo y su interacción con el componente ganadero; 2) Identificar los costos de oportunidad del uso del rastrojo como mantillo y los factores que podrían estar condicionando el potencial de adopción de la labranza de conservación; y 3) Identificar temas de investigación futuros.

Para el presente trabajo se utilizaron varias fuentes de información. En primer lugar se empleó información secundaria para caracterizar las áreas de estudio, en segundo lugar, se usaron los resultados de un sondeo a agricultores, ganaderos y extensionistas en cada una de las tres áreas. Este sondeo estuvo dirigido a caracterizar las formas de consumo y venta del rastrojo en cada una de ellas. La información sobre disponibilidad de rastrojo en el sistema se obtuvo de entrevistas y muestreos directos tomados al azar en los distintos sistemas en tres épocas diferentes del período de pastoreo. La primera muestra se realizó al inicio del ciclo de pastoreo (mediados de enero), la segunda en marzo y la tercera al final del ciclo de pastoreo (abril). Los datos obtenidos de los muestreos se compararon con aquellos obtenidos en

los experimentos sobre labranza de conservación y fertilidad nitrogenada llevados a cabo durante los ciclos 1991 y 1992.

DESCRIPCION GENERAL DE LOS SISTEMAS

El maíz en El Salvador se siembra en 2 sistemas principales determinados fundamentalmente por el régimen de lluvias: Maíz en relevo con frijol cuando existe suficiente lluvia para este segundo cultivo, y maíz en relevo o asocio con sorgo cuando existen restricciones de humedad. Este trabajo se concentra en tres áreas de El Salvador que representan ambos sistemas. El Cuadro 1 presenta algunos parámetros generales de cada una de las áreas involucradas.

El Cuadro 2 resume algunas características de los sistemas de cultivo en donde interviene el maíz para cada una de las áreas bajo estudio. En San Juan Opico predomina el sistema maíz-frijol en relevo, en Texistepeque el sistema es de maíz en relevo con sorgo mientras que en Guaymango el sistema es maíz en asocio con sorgo.

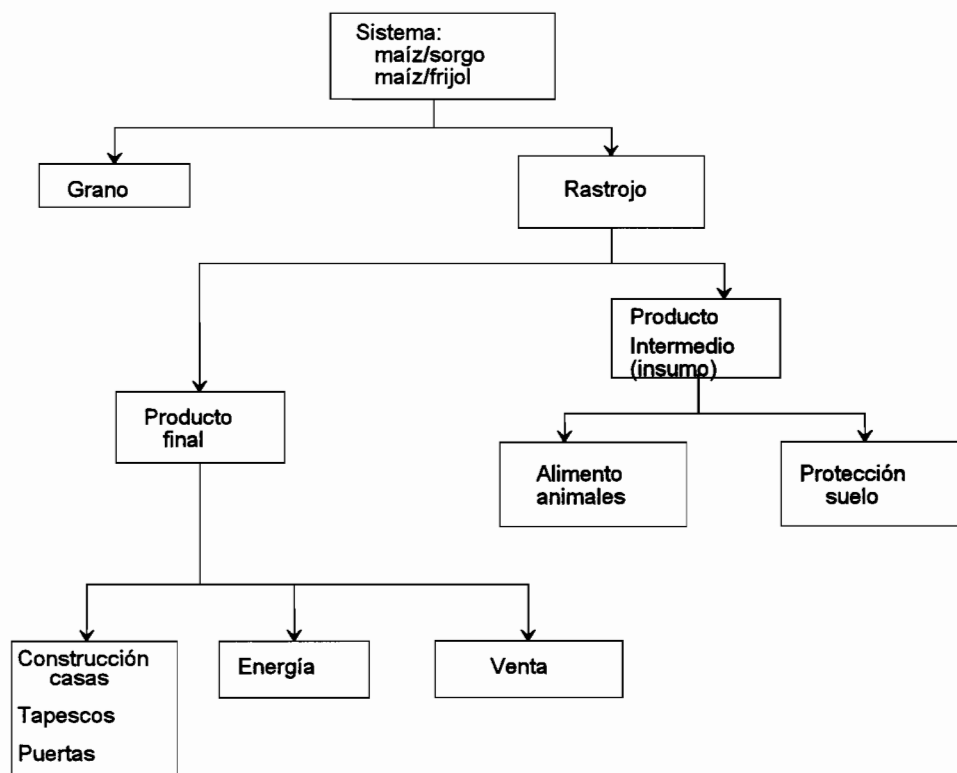


Figura 1. Usos alternativos del rastrojo de los sistemas maíz/sorgo y maíz/frijol a nivel de finca identificados en tres áreas de El Salvador. 1992.

Cuadro 1. Características geográficas de las áreas de San Juan Opico, Texistepeque, y Guaymango.

Parámetros	Opico	Texistepeque	Guaymango
Área (km ²)	219	179	60
Población (miles hab.)	46	23	16
Precipitación (mm/año)	1400 a 2000	1600 a 1900	1700 a 2200
Altitud (msnm)	510	300 a 2230	410

Fuente: Monografías de los departamentos de La Libertad, Ahuachapán y Santa Ana.

Esta diferencia en el sistema se refleja en las épocas de siembra y cosecha del sorgo, tal como se observa en el Cuadro 2 y en nivel de los rendimientos de grano de maíz como se verá más adelante. Otra diferencia entre Texistepeque y Guaymango se refiere al uso del mantillo. En Guaymango existe una tradición de aproximadamente 15 a 20 años de usar los rastros del sistema como mantillo para conservar el suelo (Calderón *et al.*, 1991) mientras que en Texistepeque el uso predominante del rastrojo es para la alimentación del ganado. En cuanto a las variedades predominantes, no hay diferencias significativas en lo que respecta al maíz, pero si en lo que respecta al sorgo. En Texistepeque la mayoría de los agricultores usan la variedad mejorada Centa Texistepeque, mientras que en Guaymango predominan las variedades criollas. En Opico las variedades de frijol predominantes son también criollas.

Dado que en el país no hay información reciente, para caracterizar el uso de la tierra en cada una de las áreas se tomaron los datos del tercer Censo Nacional Agropecuario de 1971 (Cuadro 3). En este cuadro la categoría "tierra de labranza" incluye los granos

básicos tales como maíz, frijol, sorgo y arroz. En cuanto a la producción agropecuaria existe información relativamente más reciente. El Cuadro 4 muestra la distribución de tierras por cultivo mientras que el Cuadro 5 muestra la composición de la existencia de animales por categoría en los tres Municipios considerados para el año 1982. Hay una pequeña discrepancia entre la superficie total en cultivos registrada en el Cuadro 4 y aquella registrada en el rubro "tierra de labranza" (superficie cultivada) en el Cuadro 3, la que puede atribuirse parcialmente a cambios en el área con cultivos producidos entre 1971 y 1982 y a errores de la información. El Cuadro 6 muestra la presión de pastoreo medida por el número de bovinos, equinos y mular por hectárea en tres categorías de tierra: labranza, pastos y labranza más pastos. Texistepeque muestra la presión de pastoreo más alta por unidad de tierra en labranza como también cuando se consideran los pastos tanto naturales como artificiales. Guaymango muestra una presión de pastoreo alta si sólo se considera la tierra en cultivos pero gracias a una alta disponibilidad de pastos, alcanza una presión de pastoreo global baja (0.7 animales/ha tierra en labranza y pastos).

EL MANEJO DE RASTROJO EN LAS AREAS DE ESTUDIO

Como se explicó anteriormente, el rastrojo es un producto conjunto del sistema de producción predominante en las áreas bajo estudio sobre cuyo destino final el agricultor debe tomar decisiones sobre la forma más adecuada a sus circunstancias. La dinámica de este proceso implica una serie de decisiones cuyas consecuencias tienen implicaciones tanto para el corto plazo, cuando se usa como alimento animal o venta, como para el largo plazo cuando se usa como mantillo.

Cuadro 2. Principales características de los sistemas de cultivo de maíz en las tres áreas bajo estudio.

	Opico	Texistepeque	Guaymango
Sistema en donde interviene el maíz	relevo con frijol	relevo con sorgo	asocio con sorgo
Epoca siembra maíz	mayo-junio	mayo-junio	mayo
Epoca siembra frijol	agosto-setiembre		
Epoca siembra sorgo		agosto-setiembre	junio
Cosecha maíz	diciembre	diciembre	noviembre
Cosecha frijol	noviembre		
Cosecha sorgo		enero	diciembre
Variedades maíz	H5	H5, Santa Rosa, Capulín	H5, H3, H56, H57
Variedades frijol/sorgo	Rojo Seda, Sangre de toro y Vaina Blanca	Centa Texistepeque, Mexicano, Colombiano	Panameño, Corona, Fortuna

Cuadro 3. Clase de aprovechamiento de la tierra en San Juan Opico, Texistepeque y Guaymango en 1971.

Clase de aprovechamiento	Opico	%	Texistepeque	%	Guaymango	%
Tierra de labranza (ha)	8593	34	4962	35	2641	19
Cultivos permanentes (ha)	4573	18	39	0	3429	25
Pastos naturales (ha)	6211	25	4571	32	6132	44
Pastos sembrados (ha)	671	3	2032	14	446	3
Montes y bosques (ha)	2655	11	2054	14	734	5
Otras tierras (ha)	2427	9	569	5	489	4
Total (ha)	25130	100	14227	100	13871	100

Fuente: Censo Nacional Agropecuario, 1971.

Cuadro 4. Principales cultivos San Juan Opico, Texistepeque y Guaymango 1982.

Cultivos	Opico	%	Texistepeque	%	Guaymango	%
Maíz (ha)	4255	59	2506	51	1323	50
Frijol (ha)	2514	35	897	18	43	2
Arroz (ha)	159	2	10		12	
Maicillo (ha)	228	3	1478	30	1263	48
Total (ha)	7156	100	4890	100	2641	100

Fuente: Monografías de los departamentos de La Libertad, Ahuachapán y Santa Ana.

Cuadro 5. Inventario ganadero, San Juan Opico y Texistepeque, 1982.

Animales	Opico	%	Texistepeque	%	Guaymango	%
Bovinos (cabezas)	8805	56	13380	78	5513	59
Porcinos (cabezas)	5252	33	2632	15	2984	32
Equinos (cabezas)	1550	10	862	5	710	8
Mular (cabezas)	254	1	279	2	132	1
Total (cabezas)	15861	100	17153	100	9339	100

Fuente: Monografías de los departamentos de La Libertad, Ahuachapán y Santa Ana.

Cuadro 6. Producción pecuaria por unidad de superficie, San Juan Opico, Guaymango y Texistepeque, 1982.

	Opico	Texistepeque	Guaymango
Animales/ ha tierra labranza	1.23	2.93	2.41
Animales/ ha pastos	1.54	2.19	0.97
Animales/ ha tierra labranza+pastos	0.69	1.26	0.69

La productividad del sistema en un año cualquiera medida por la cantidad de grano y rastrojo que produce por unidad de tierra está condicionada por la calidad del suelo y el nivel tecnológico usado.

Al final del período productivo, comienza en las áreas bajo estudio, la época de verano o de pastoreo. En este momento es que el agricultor debe tomar la primera de las decisiones referentes al manejo del rastrojo: usarlo como alimento para el ganado o dejarlo como mantillo en el suelo (Figura 2). Obviamente la decisión puede ser una estrategia mixta entre ambos usos. En esta decisión entran en juego factores como la importancia (cantidad) del ganado en el sistema, la disponibilidad de fuentes alternativas de

alimento para el ganado, los precios del ganado, los precios del rastrojo (si es que existen), el valor que tenga para el agricultor el rastrojo como medio para evitar la erosión, etc. Al final del ciclo de pastoreo y comienzo del próximo ciclo del cultivo se encuentra una cantidad de rastrojo denominada en la Figura 2 rastrojo final (Rf) cuya magnitud depende de la cantidad inicial (Ri) producida por el sistema y de la desaparición (D) durante la época de verano. La desaparición a su vez es una función del tipo o composición del rastrojo, de los factores climáticos predominantes y principalmente del manejo hecho del rastrojo. El rastrojo final es importante ya que debe proveer una cantidad mínima si es que se quiere usar como preventivo de la erosión en el siguiente ciclo de cultivo. Al comienzo del ciclo productivo el agricultor debe tomar la decisión de cómo manejar el rastrojo en la preparación del suelo: o lo quema, lo deja como mantillo protector o lo incorpora mediante laboreo mecánico.

Aquí también entran en juego variables económicas tales como los costos de una u otra alternativa y el valor de la conservación de suelo para

el agricultor. Las consecuencias de las decisiones que el agricultor toma sobre el mejor uso del mantillo condicionan a su vez la calidad del suelo en periodos futuros, el que unido al nivel tecnológico modifican la productividad del sistema en esos periodos cerrando así la dinámica del manejo.

En el resto de la sección se analizan en forma comparativa algunas de estas relaciones técnicas y económicas que condicionan las decisiones del agricultor sobre el uso del rastrojo y se tratan de explicar las diferencias regionales.

Dinámica de la Disponibilidad del Rastrojo

La disponibilidad inicial de los residuos varía de acuerdo al sistema y a su productividad. Al momento de la cosecha, en que el agricultor debe definir el uso del rastrojo inicial, la disponibilidad es máxima. A partir de ese momento la disponibilidad disminuye ya sea por descomposición o por pastoreo o ambos hasta llegar al momento de la preparación del terreno para el siguiente ciclo agrícola cuando se tiene la disponibilidad final. En ese momento el agricultor debe decidir el uso de este rastrojo. El Cuadro 7 muestra los promedios de producción de los sistemas en término de rendimiento de grano y rastrojo así como también la evolución de la disponibilidad durante la época de pastoreo hasta llegar a la disponibilidad final en los tres sistemas considerados.

Los rendimientos de grano de los sistemas se obtuvieron de los promedios experimentales del año 1991-1992 (Sosa, 1992). Los rendimientos de rastrojo a la cosecha se calcularon con base en los rendimientos de grano y tomando un índice de cosecha (partición entre grano y biomasa) promedio de 45%, 35% y 50% para el maíz, sorgo y frijol respectivamente. La evolución de la disponibilidad se obtuvo mediante muestreos secuenciales en campos de agricultores. Para ello se eligieron agricultores al azar en cada zona y se muestreó el lote principal de maíz en tres épocas diferentes. Los altos rendimientos de maíz en Opico se pueden explicar por la mejor calidad de los suelos (suelos más profundos) respecto a las otras dos áreas. La diferencia entre los rendimientos de Texistepeque y Guaymango podría explicarse en término de la diferencia en que se incorpora el sorgo en el sistema, asociado en Guaymango y en relevo en Texistepeque. Los resultados muestran a Texistepeque con mayor disponibilidad inicial de rastrojo (casi 11 ton/ha), pero también presenta 80% de desaparición llegando a una disponibilidad final de un poco más de 2 ton/ha. En segundo lugar respecto a la disponibilidad inicial se encuentra Guaymango con casi 10 ton/ha pero con sólo 30% de desaparición, llegando así a tener la mayor disponibilidad final de las tres áreas con casi 7 ton/ha. Finalmente Opico presenta la más alta productividad en términos del maíz pero por el tipo de

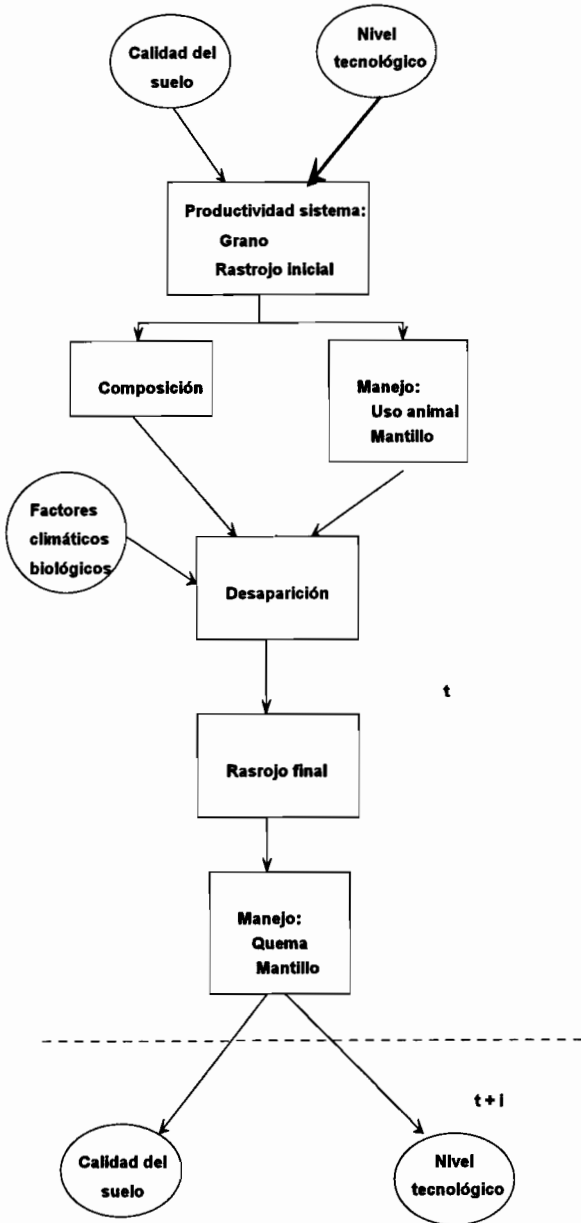


Figura 2. La dinámica de la producción y la utilización del rastrojo.

Cuadro 7: Rendimientos promedio de grano y disponibilidad del rastrojo en las tres áreas consideradas

Localidad	Sistema	Rendimiento grano ^{1/} ton/ha	Rendimiento residuo (mes) ton/ha			
			Cosecha ^{2/}	Mediciones (muestras)		
				1 ^{er}	2 ^{da}	3 ^{ra}
Guaymango	maíz-sorgo (asocio)	2.9 maíz	(Dic-Ene) 9.7	(Feb) 8.5	(Marzo) 7.9	(Mayo) 6.7
		3.3 sorgo		(n=15)	(n=15)	(n=15)
Texistepe-que	maíz-sorgo (relevó)	3.8 maíz	(Dic-Ene) 10.9	(Enero) 5.3 ^{3/}	(Marzo) 4.6 ^{3/}	(Abril) 2.2
		3.4 sorgo		(n=6)	(n=6)	(n=6)
Opico	maíz-frijol (relevó)	4.3 maíz	(Dic-Ene) 6.9	(Enero) 6.2	(Marzo) 4.6	(Abril) 2.4
		1.2 frijol		(n=6)	(n=6)	(n=6)

^{1/}Rendimientos experimentales según Sosa 1992.

^{2/}Calculados de acuerdo a los siguientes índices de cosecha: maíz: 0.45; sorgo: 0.35; y frijol: 0.5.

^{3/}La diferencia con el rastrojo calculado de acuerdo al índice de cosecha se debe a que de acuerdo a la costumbre en el área la caña del sorgo todavía está en pié, por lo que en el pesode enero y marzo no considera este componente.

sistema maíz-frijol tiene la menor disponibilidad inicial de rastrojo, casi 7 ton/ha y 60% de desaparición. De esta manera Opico y Texistepeque llegan al final de la época de pastoreo con sólo 2 ton/ha de rastrojo, cantidad que parece insuficiente para tener un control efectivo de la pérdida de suelo por erosión hídrica.

Estas cifras son consistentes con aquellas que reflejan la presión de pastoreo a nivel agregado (Cuadro 6) en donde Texistepeque y Opico presentan la mayor presión con 1.1 y 1.0 animales/ha de tierra de cultivos y pastos respectivamente, y Guaymango que presenta la menor presión con 0.7 animales/ha. También son consistentes con el manejo que se le da al rastrojo en cada una de las áreas. Las diferencias en disponibilidad inicial son importantes ya que la poca disponibilidad inicial restringe las opciones que tiene el agricultor en cuanto a la posibilidad de compromisos entre usos alternativos del rastrojo: Como alimento para el ganado y como mantillo para protección del suelo.

Manejo del Rastrojo Durante la Época de Verano en los Diferentes Sistemas

Tanto la magnitud como la tasa de desaparición del rastrojo están directamente relacionadas no solamente con la cantidad inicial y consecuentemente con la productividad del sistema, sino también con la composición del rastrojo y con el manejo que el agricultor haga del rastrojo. En las áreas de Guaymango y Texistepeque el rastrojo está formado por los residuos del sistema maíz/sorgo mientras que en San Juan Opico (Lomas de Santiago) lo componen

los residuos del sistema maíz/frijol que son mas susceptibles a la descomposición. Sin embargo las diferencias en la desaparición del rastrojo deben ser atribuidas fundamentalmente a la diferencia en el manejo del rastrojo durante el verano el cual varía marcadamente entre las áreas de estudio. A continuación se describe las formas de manejo del rastrojo en las diferentes áreas.

Costumbres de Manejo del Rastrojo

Las observaciones de campo realizadas en el área de San Juan Opico permitieron advertir que después de la cosecha del grano, los residuos de maíz quedan esparcidos por todo el terreno entre abundantes malezas vivas. Al final de la época de pastoreo del rastrojo, el ganado ha comido casi todo el material tierno (hojas) dejando solamente las cañas secas de maíz como protección al suelo.

En la zona de Texistepeque, el 90% de los agricultores realizan la cosecha de maíz en el mes de noviembre. En ese momento es retirada la mazorca y se tira la planta seca al suelo, luego en los meses de diciembre y enero se cosecha el sorgo. En este caso se corta la panoja pero la caña permanece en pie ya que la variedad de sorgo que siembran CENTA Texistepeque es de porte bajo y les da la facilidad de cortar la panoja sin tumbar la planta. En esta área durante los primeros meses del verano, el rastrojo de maíz esta completamente seco en el suelo mientras que el de sorgo se encuentra en pie. Este último es volteado al suelo al momento de la preparación del suelo para la siembra de maíz a finales del mes de abril, o sea cuando comienzan las primeras lluvias.

En Guaymango la cosecha de maíz se realiza durante el mes de noviembre. Una vez realizada la cosecha de maíz, se voltea el resto de la planta sobre la superficie del terreno. En los meses de diciembre, y enero se procede a la cosecha del sorgo para ello se corta el tallo a una distancia de 30 cm. del suelo, quedando las plantas con su panoja en el suelo para que continúe el secado de los granos. Después de ocho días se corta la panoja, y se deja el rastrojo del sorgo junto con el del maíz sobre la superficie del suelo. Lo único que queda en pie es la base de la planta de sorgo, la cual sirve de guía para la próxima siembra de maíz.

Formas de Venta: Uso del Rastrojo como Alimento Animal

La alternativa más importante al uso del rastrojo como mantillo resultó ser en las tres áreas bajo estudio el uso en la alimentación del ganado. El agricultor puede asumir una de las tres posiciones respecto a este uso: 1) puede vender el rastrojo para la alimentación de animales de terceros ya sea en su parcela o fuera de ella, 2) puede comprar rastrojo para procesar o alimentar ganado propio, y 3) puede usarlo para alimentar su propio ganado.

Los resultados del sondeo mostraron que para las tres áreas la participación del agricultor en el mercado de rastrojo depende de dos características: la forma de tenencia de la tierra, y la posesión o no de animales propios. Si el agricultor tiene ganado propio invariablemente usa parte o todo el rastrojo para alimentar su ganado pudiendo comprar cantidades adicionales si fuera necesario. Si por el contrario, el agricultor no tiene ganado propio entonces participa en el mercado como vendedor, arrendatario o propietario de la tierra.

Sin embargo existen características que permiten distinguir entre las tres áreas como lo son el tamaño de finca, tamaño del hato, la presión de pastoreo, el nivel de acceso al rastrojo y nivel de desarrollo del mercado de rastrojo. El Cuadro 8 resume estas características para cada una de las áreas.

Tamaño de Finca, Tamaño del Hato y Presión de Pastoreo

Texistepeque es el área que presenta un tamaño promedio de fincas significativamente mayor que las otras dos áreas (Cuadro 8). El tamaño del hato ganadero está directamente relacionado con la superficie de la finca, por lo que también aquí se encuentran las mayores existencias de animales por finca. Sin embargo si se estima la relación entre ambas variables las diferencias no son tan notorias: Texistepeque registra un promedio de 2 animales por hectárea, Guaymango 1.6 y Opico registra la menor relación con 1.3 animales/ha (Cuadro 8). Estas figuras confirman aquellas a nivel agregado (Cuadro 5) que remarcan la importancia del subsector ganadero en Texistepeque. Si se toma en cuenta el período de pastoreo se puede estimar la presión por unidad de tierra y por semana. Los resultados muestran a Texistepeque y Guaymango con una presión de 0.2 animales/ha/semana, mientras que en Opico alcanza a sólo 0.13 animales/ha/semana. Esta diferencia puede explicarse por el tamaño de la finca y el tipo o clase de rastrojo que en Opico está formado por residuos del maíz y frijol mientras que en las otras dos áreas se compone de residuos de maíz y sorgo.

El 90% de los entrevistados respondieron que el ganado alimentado con los residuos de los diferentes cultivos en los meses secos, solo mantiene su peso, reduciendo un poco la producción de leche.

Cuadro 8 .Principales parámetros de manejo de los rastrojos durante la época de verano en las tres áreas bajo estudio

	Opico	Texistepeque	Guaymango
Area promedio finca (ha)	2.4	13.9	8.0
No de animales	3	28	13
No animales /ha	1.3	2.0	1.6
Presión de pastoreo(No animales /ha/semana)	0.13	0.19	0.20
Tipo o clase de rastrojo	maíz-frijol	maíz-sorgo	maíz-sorgo
Desarrollo del mercado	Poco. Pastoreo libre	Mercado potencial.	Mercado incipiente.
		Exclusión por alambradas	Pastoreo libre
Semana/mes de inicio pastoreo	1ra-2da enero	4ta enero - 1ra feb.	1ra-2da enero
No semanas pastoreo	10.4	9.8	9.8
No de días pastoreo	73	69	69
Porcentaje rastrojo en el campo al finalizar pastoreo (%)	30	19	43
Rastrojo final estimado (ton)	2.1	2.1	4.2

Es decir que la presión de pastoreo es tal que sólo permite a los propietarios de ganado mantener a los animales evitando una pérdida de peso y por ende una pérdida económica.

Desarrollo del Mercado de Rastrojo: Formas de Venta y Precio del Rastrojo

La importancia del sector ganadero en un área juega un factor importante en el lado de la demanda para el desarrollo de un mercado de rastrojo. Otro factor de vital importancia es la capacidad de exclusión, es decir que exista la posibilidad de excluir a los animales de los agricultores que no paguen por su uso. Esto es posible si existen alambrados u otra forma de exclusión. De las tres áreas consideradas, Texistepeque es la que tiene un mercado de rastrojo más desarrollado debido a que es la región donde ambos factores son más robustos. La existencia de alambrados y la importancia de la ganadería en Texistepeque puede explicarse por el tipo de explotaciones (grandes haciendas) predominantes en el área previo a la reforma agraria. En Guaymango y San Juan Opico, el desarrollo del mercado es incipiente debido principalmente a la inexistencia de formas de exclusión. En ambas áreas el ganado pastorea libremente durante los meses de verano y aunque existe una modalidad de venta y un precio por el rastrojo no es muy claro como se regulan las estipulaciones que se imponen.

La venta del rastrojo se efectúa bajo dos grandes modalidades. En la primera, el agricultor vende el rastrojo en la parcela, bajo ciertas condiciones previamente estipuladas, que incluyen: El número de cabezas que está permitido entrar, fecha de entrada y salida del ganado (días, semanas o meses), y forma de pago (dinero en efectivo, insumos o dándole otra parcela para futuras siembras). En la segunda modalidad el agricultor vende la producción de rastrojo fuera de la parcela. En este caso, el agricultor puede recoger el rastrojo procesarlo y llevarlo al punto de venta. Alternativamente, él puede arreglar que esta operación la realice el comprador, en este caso, también existen algunas condiciones, como la cantidad de rastrojo que debe quedar en el suelo.

Los resultados del sondeo realizado en Texistepeque, donde el mercado se encuentra más desarrollado, mostraron que los precios varían de acuerdo a la modalidad de venta (Cuadro 9). Para el rastrojo en bruto este precio varía entre 143 y 286 col/ha dependiendo de la cantidad y calidad de rastrojo con un promedio de 214.5 col/ha. Este precio

se mantiene tanto si el consumo se realiza dentro o fuera de la parcela. Teniendo en cuenta los rendimientos promedios de rastrojo inicial en Texistepeque (Cuadro 7), el precio por kg de rastrojo resulta en 0.02 col/kg. (Cuadro 9).

Cuadro 9. Precios del rastrojo de maíz/sorgo en el área de Texistepeque, El Salvador, 1993

Modalidad	Precio rastrojo	
	col/unidad	col/kg
Rastrojo en bruto en la parcela	214.5/ha	0.02
Rastrojo en bruto fuera de la parcela	214.5/ha	0.02
Pastoreo de animales en la parcela	27.5/cabeza /mes	0.02

En otros casos el precio se determinó por animal y por unidad de tiempo en 25 a 30 colones por cabeza y mes con un promedio de 27.5 col/cabeza/mes. Teniendo en cuenta el número de animales promedio por finca en Texistepeque (Cuadro 8), un período de pastoreo de tres meses, y el rendimiento de rastrojo en el área el precio por kg. de rastrojo con esta modalidad también es de 0.02 col/kg. Aunque no se tiene información sistematizada sobre el precio del rastrojo en Opico y Guaymango la información existente indica que los precios del rastrojo se encuentran dentro de los rangos mencionados en el área de Texistepeque. Además del precio, comprador y vendedor arreglan una o más de las siguientes condiciones: Las fechas de entrada y salida, el número de animales y la cantidad de rastrojo que debe quedar en el terreno.

En cuanto a la fecha de entrada al pastoreo, para Guaymango y San Juan Opico comienza en las dos primeras semanas de enero mientras que en Texistepeque comienza a fin de enero principios de febrero (Cuadro 8). En las tres áreas se retira el ganado a mediados de abril cuando comienza el período de preparación de las tierras para la siembra. Es decir que el período de pastoreo tiene una duración de alrededor de 10 semanas (Cuadro 8).

La cantidad final de rastrojo que debe quedar en el campo después del pastoreo, se establece en términos porcentuales. Existe una diferencia significativa en el caso de Guaymango donde el uso como mantillo se encuentra ampliamente difundido. En esta área el

agricultor exige que casi la mitad del rastrojo permanezca en el campo mientras que en Texistepeque esta cifra baja a una quinta parte. (Cuadro 8). Esto significa que el agricultor en Guaymango tiene 4 ton/ha de rastrojo al comenzar el siguiente ciclo agrícola mientras que en Opico y Texistepeque sólo tiene 2 ton/ha (Cuadro 8). Estas cifras son consistentes con aquellas encontradas en los muestreos en el campo al final del ciclo de pastoreo donde se midieron casi 6.5 y 2.0 ton/ha de rastrojo en Guaymango y las otras dos áreas (Cuadro 7).

Otra de las modalidades del mercado en Texistepeque que prácticamente no existe en las otras dos áreas, es la comercialización del rastrojo molido. En general los compradores de rastrojo son pequeños ganaderos cuya demanda por alimento supera su propia disponibilidad por lo cual se ven obligados a comprar afuera de su finca. Ellos almacenan los residuos molidos para los meses de escasez en el verano.

Se estimó el costo del procesamiento del rastrojo para obtener el precio mínimo de venta del rastrojo molido conocido como "harina" por los agricultores del área. El Cuadro 10 muestra los cálculos de este costo que resulta en 0.38 colones por kilogramo de producto molido o sea US\$0.05/kg a la tasa de cambio vigente. Este valor es muy similar al encontrado en México (Tripp, 1993).

También se calcularon los costos e ingresos de un productor de maíz y sorgo (con tecnología modal) que vende el rastrojo en bruto. (Cuadro 11). El rastrojo contribuye con un poco menos del 5% del ingreso provisto por la producción y venta de grano. La rentabilidad del sistema medida por el retorno a la tierra y la administración muestra una tasa de retorno de 24% que resulta ligeramente inferior al interés anual cargado por el capital al agricultor (27%/ año).

Manejo del Rastrojo para la Preparación del Suelo

En Guaymango los agricultores dejaron de quemar los rastrojos del sistema desde hace 15 a 20 años y adoptaron un sistema de cultivo consistente en dejar los residuos del sistema esparcidos en el suelo para así evitar la erosión y tener un mejor manejo de la humedad (Calderon *et al.*, 1991).

En las otras dos áreas el manejo es mixto. En el área de San Juan Opico el 54% de los agricultores entrevistados manifestaron que no quemaban los residuos mientras que el 46% si lo hacían. No se tiene

una estimación precisa en el área de Texistepeque sin embargo es probable que el porcentaje de agricultores que queman los rastrojos en esta área sea igual o mayor. De todas maneras no resulta claro si aquellos agricultores que no queman lo hacen porque la cantidad (2 ton/ha) y calidad (cañas) del rastrojo final no facilita la quema o por la adopción de una práctica de conservación.

Cuadro 10. Costos de producción de rastrojo molido (harina) por el ganadero en Texistepeque, 1993.

RUBRO	Costo col/ha
Precio de campo de una hectárea de rastrojo en bruto de 24 toneladas (peso húmedo, aprox. 55% humedad)	286
Mano de obra para recoger rastrojo 17 jornales/ha. a 25col/jornal	425
Transporte rastrojo a la moledora (col)	400
Moler rastrojo. 239 sacos de 60lbs c/u a 6 col saco	1434
Mano de obra para moler 6 jornales a 25 col/jor	150
Total costos molido	2695
Producción de rastrojo molido (harina)Kgs	7143
Costo por kg (col/kg)	0.38
Costo por kg (US\$/kg)	0.05

Cuadro 11. Costos e ingresos de una hectárea bajo el sistema maíz/sorgo en Texistepeque, El Salvador, 1992.

<i>Costos</i>	
RUBRO	Costo col/ha
Costos de producción de maíz (excluidos tierra y administración)	3532
Costos de producción de sorgo (excluidos tierra y administración)	2144
Costos totales (excluidos tierra y administración)	5676
<i>Ingresos</i>	
RUBRO	Ingresos col/ha
3.2 ton/ha de grano de maíz @ 1210col/ton	3872
2.6 ton/ha de grano de sorgo @ 1100 col/ton	2860
Rastrojo del sistema	286
Ingreso Bruto total	7018
Ingreso Neto	1342
Retorno sobre tierra y administración	24%

El 80% de los agricultores de Opico que queman necesitan amontonar los rastrojos primero para poder así proceder a su quema. Mientras que casi la mitad de los agricultores que no queman el rastrojo lo dejan esparcidos sobre la superficie, un tercio lo acomoda en hileras y el resto lo incorpora al suelo. Las razones expuestas por los agricultores para no quemar los residuos enfatizan el uso del rastrojo como un mejorador de la calidad del suelo: Un 60% no quema porque es "abono" y un 40% para evitar la erosión. Por el contrario los que queman apuntan razones asociadas con reducción en costos: Un 55% dice que facilita las labores de preparación de la siembra y un 45% para evitar las plagas.

CONCLUSIONES

En los sistemas de producción de maíz prevalecientes en las laderas de El Salvador la interacción del sistema agrícola con el ganadero es de suma importancia para entender la decisión de los agricultores de adoptar la labranza de conservación. Aunque en estos sistemas los agricultores le dan diferentes usos a los residuos de maíz, sorgo y frijol tales como consumo animal, conservación de suelo, fuente energética y para elaborar algunos objetos del hogar como son puertas y tapescos, el uso de los residuos del sistema como alimento para el ganado en los meses de verano es el más importante en términos de esta interacción.

En aquellos sistemas donde sí ha habido adopción del uso de los residuos como mantillo, tal como es el caso de Guaymango, la cantidad de biomasa que deja el sistema es lo suficientemente grande como para permitir un uso de doble propósito de los residuos, como mantillo y como forraje. Es decir que la productividad del sistema debe ser lo suficientemente alta para permitir este doble uso como una condición necesaria para que exista adopción de la labranza de conservación. Por el contrario, el sólo hecho de no quemar los residuos no significa necesariamente que exista adopción técnica de la práctica de la labranza de conservación. Puede suceder que el uso como alimento del ganado es tal que la cantidad de rastrojo en el suelo al momento de la preparación del terreno no es suficiente tanto cuantitativa como cualitativamente para permitir su quema, tal como ocurre en el área de Opico.

La comercialización del rastrojo en las tres áreas investigadas ha comenzado a tomar importancia entre los agricultores. Aunque los canales de

comercialización no están todavía bien definidos; sí se identifica que las formas de comercializar los residuos dependen de la posibilidad de exclusión del ganado mediante cercas.

Hasta el presente no se conoce la demanda de rastrojo en el área en términos de las cantidades demandadas, quiénes son los usuarios que consumen estos residuos, las formas de comercialización, y los diferentes precios que se pagan. Para obtener más información sobre el tema se inició la creación de una base homogénea de recopilación de información sobre el manejo y el costo (precio) de el rastrojo en diferentes áreas de América Central. Esta información complementará aquella obtenida a nivel experimental sobre el valor del rastrojo simple y enriquecido con la inclusión de una leguminosa (Pereira de Herrera *et al.*, 1993).

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer los comentarios y sugerencias de Robert Tripp, Larry Harrington, Hector Barreto, Miguel Lopez P, Henry Hocde, y Martien van Nieuwkoop a versiones preliminares de este trabajo.

REFERENCIAS

- Calderón F., H. Sosa, V. Mendoza, G. Sain y H. Barreto. 1991. Adopción y difusión de la labranza de conservación en Metalio-Guaymango. Aspectos institucionales y reflexiones técnicas. En: IICA "Agricultura Sostenible en las laderas centroamericanas. Oportunidades de colaboración interinstitucional." IICA, San José, Costa Rica.
- Choto de Cerna, C. y G. Sain. 1993. Memorias del Taller sobre Métodos para la Recopilación de la Información para el Análisis Económico de la Labranza de Conservación. San Salvador, El Salvador. Mimeo.
- Mendoza, V., H. Sosa, E. Baidés, E. Ascencio y R. Rodríguez. 1985. Desarrollo de la validación, transferencia de tecnologías en los sistemas maíz-sorgo y maíz-frijol, en las áreas de Metalio-Guaymango y Opico-Quezaltepeque, El Salvador. En XXXI Reunión Anual del PCCMCA, San Pedro Sula. Honduras, 15-19 de Abril de 1985.
- Pereira de Herrera .A., D. Herrera, B. Guerrero, O. Vergara, R. Gordón y G. Sain. 1993. Evaluación bioeconómica del uso del rastrojo de maíz con Canavalia en la alimentación animal. Panamá 1993

Sosa, H. 1991. Efecto de la cantidad de mantillo en el rendimiento de los sistemas maíz-sorgo y maíz-frijol bajo labranza cero en El Salvador. En Programa Regional de Maíz " Síntesis de Resultados Experimentales 1991" Vol. 3 Julio 1992. Guatemala, 1992.

Tripp, R. 1993. El valor del rastrojo" Conferencia dada en el: Taller sobre métodos de recopilación de información para el análisis económico de la labranza de conservación." Organizado por CENTA-RCSE-PRM y CIMMYT en San Salvador, El Salvador, 19-23 de Abril de 1993.

Diagnóstico de la Industria de Semilla Certificada de Maíz en Centro América

Carlos Valladares y Gustavo Saín¹

RESUMEN

Este trabajo presenta un análisis general del mercado de semillas mejoradas de maíz en los países Centroamericanos pero con especial énfasis en Guatemala. Se muestra que existe todavía una gran brecha entre la demanda potencial por este importante insumo y los niveles actuales de producción. Solamente El Salvador y Guatemala tienen una actividad importante en la producción y comercialización de semillas mejoradas llegando a exportar semillas a otros países del Istmo. La producción de semillas mejoradas es una actividad rentable en Guatemala a los niveles actuales de precios y rendimientos.

Este trabajo analiza aspectos generales vinculados con la industria de semilla certificada en Centro América. Pretende describir en líneas generales el comportamiento de la semilla mejorada de maíz en los mercados de cada país de la región Centroamericana, con especial énfasis en Guatemala por la disponibilidad de información.

En Centro América, la necesidad alimentaria constituye una prioridad por cuanto el ingreso per capita de la población es bajo y porque la mayor proporción de este ingreso se destina hacia la compra de alimentos. Entre los alimentos de primer orden se encuentran los granos básicos (especialmente el maíz) que constituye la base alimentaria de la población. El cultivo de maíz absorbe el mayor porcentaje del área cultivada, los rendimientos obtenidos por los agricultores se caracterizan por ser relativamente bajos, lo que implica incorporar en el proceso productivo un factor que contribuya a mejorar los incrementos en la producción y productividad en tal sentido, la semilla constituye un importante elemento que coadyuva a mejorar los rendimientos en el cultivo.

Descripción de la Producción de Semilla Certificada

Aunque existen diferencias menores en cada uno de los países del área, el proceso de producción de

semilla certificada sigue, en líneas generales, los siguientes pasos: 1) El semillerista debe estar inscrito y registrado en el Departamento de Control y Certificación de Semillas y/o en la Agencia Regional de Semillas; 2) El semillerista debe utilizar en sus campos para la siembra, semilla de fundación y demostrar ante las agencias mencionadas, el origen y cantidad de la semilla que utilizará para la siembra; 3) El semillerista debe contar con la asesoría técnica en la producción de semillas; 4) El semillerista debe llenar los requisitos de aislamiento y otros que determinan los reglamentos y solicitar la inspección de campo al Departamento de Control y Certificación de Semillas y/o la Agencia Regional de Semillas; 5) El semillerista debe cosechar, procesar y envasar la semilla con equipos adecuados y evitando mezclas con semillas de otras variedades. Debe además, notificar al Departamento de Control y Certificación de Semillas y/o Agencia Regional, en cual lugar será procesada y envasada la semilla; 6) El semillerista debe solicitar ante el Departamento de Control y Certificación de Semillas, el número de etiquetas y marchamos; 7) La inscripción como semillerista, deberá efectuarse y renovarse anualmente y presentar la solicitud de inscripción del campo al Departamento de Control y Certificación de Semillas.

LA PRODUCCION DE SEMILLA DE MAIZ EN CENTRO AMERICA

Guatemala

En el Cuadro 1 se puede observar la producción de semilla de maíz total y certificada. En lo que respecta a la producción total, ésta presenta una tendencia ascendente desde 1980 hasta 1984 donde se alcanzó una cantidad máxima de 15,900 t/año. A partir de ese año la producción vuelve a disminuir y se mantiene alrededor de las 13,000 t/año. En lo que respecta a cantidad de semilla certificada, la tendencia muestra un comportamiento creciente no sólo en términos absolutos sino también en términos relativos llegando a alcanzar en 1984 el 25% del total de semilla producida.

¹ Técnico de la Unidad de Socioeconomía del ICTA, Guatemala. y Economista Regional de CIMMYT, San José, Costa Rica..

Tres instituciones del sector público agrícola se constituyen en coejecutores del Proyecto PROGETTAPS, el cual contempla un componente relacionado con la producción de semilla, el cual es ejecutado a través de ICTA-DIGESA.

El Cuadro 2 muestra los volúmenes de producción de semilla certificada de maíz que durante un quinquenio se han obtenido a través de este proyecto. La producción de semilla a través de este Proyecto, ha obtenido un significativo impacto en la actividad agrícola del país, toda vez que se ha logrado incrementar los volúmenes de oferta, poniendo a disposición de los pequeños agricultores, material vegetativo que les garantiza mejorar sus niveles de producción y productividad. Es importante señalar que otro de los impactos obtenidos es haber reducido las importaciones de semilla mejorada de maíz, especialmente los híbridos que provenían de El Salvador. En Guatemala, la semilla certificada es producida por agricultores particulares y por el ICTA. Se cultiva en campos cuya localización obedece principalmente a condiciones agroclimáticas de los cultivos y economías externas (transporte). El Cuadro 3 presenta las principales áreas productoras de semilla certificada en Guatemala. Es importante resaltar el incremento que se observa de 1987 a 1991.

Cuadro 1. Producción de semilla de maíz total y certificada, Guatemala (toneladas).

Años	Total t/año	Producción	
		Certificada t/año	%
1980	10782	242.3	2.2
1981	13184	969.3	7.3
1982	13636	1134.7	8.3
1983	13378	1970.1	14.7
1984	15990	3995.9	25.0
1985	13835	1134.7	8.2
1986	13195	1865.3	14.1
1987	15240	3314.9	22.0
1988	13032	1608.9	12.3
1989		1459.7	
1990		2197.4	
1991		1566.5	
1992		2000.0	

Cuadro 2. Producción de semilla certificada de maíz a través del proyecto PROGETTAPS Guatemala.

Años	Producción (ton)
1985	44.4
1986	26.1
1987	108.5
1988	84.0
1989	80.6

Fuente: PROGETTAPS

Cuadro 3. Areas geográficas productoras de semilla certificada por departamento, Guatemala.

DEPARTAMENTO	1987		1990		1991		1992	
	Campos	Area	Campos	Area	Campos	Area	Campos	Area
Guatemala	2	.92	-	-	-	-	-	-
Sacatepequez	1	0.80	16	15.89	2	2.43	-	-
El Progreso	5	12.95	2	5.00	-	-	-	-
Chimaltenango	3	2.25	10	28.74	7	14.99	4	4.68
Escuintla	8	77.25	24	524.50	19	236.50	14	116.60
Santa rosa	-	-	5	20.30	12	71.05	1	1.66
Sololá	-	-	-	-	-	-	-	-
Totonicapán	-	-	-	-	-	-	-	-
Quetzaltenango	1	-	-	-	7	11.79	2	0.82
Suchitepequez	2	56.0	-	-	2	6.30	1	3.15
Retalhuleu	1	2.10	2	15.40	11	25.85	8	20.60
Baja Verapaz	-	1.40	1	21.00	1	1.75	-	-
Alta Verapaz	-	-	-	-	-	-	-	-
Izabal	-	-	-	-	1	5.00	2	45.00
Chiquimula	-	-	-	-	1	0.70	2	12.50
Zacapa	-	-	1	10.50	9	82.20	1	2.80
Jutiapa	2	-	7	60.50	6	19.40	3	16.50
Jalapa	-	14.70	13	145.30	8	127.02	5	60.70
San Marcos	-	-	-	-	1	4.00	-	-
Total	25	168.37	81	847.13	87	608.98	42	285.01

El Departamento de Escuintla (Costa Sur), se constituye en la principal área del país donde se concentra la mayor cantidad de campos productores y a la vez la mayor extensión territorial destinada a la producción de semilla certificada de maíz; al respecto se debe tener presente que el agricultor de la franja costera del Pacífico se diferencia de las restantes zonas, especialmente por poseer los suficientes factores de la producción (tierra y capital) necesarios para producir semilla. En dicho cuadro también se observa que existe alta dispersión de los productores de semilla en todo el país (en el 73% del área de Guatemala), por lo que no se toman en consideración las ventajas comparativas existentes.

El Salvador

En El Salvador, la producción total de semilla de maíz durante el período 1980-1987, sigue un comportamiento casi constante sin variaciones significativas con una tasa de crecimiento de 1.16% por año. Sin embargo la producción de semilla certificada, presenta una tendencia decreciente a una tasa anual de 15.27% (Cuadro 4).

Cuadro 4. Producción de semilla de maíz total y certificada en El Salvador.

Años	Producción		
	Total t/año	Certificada t/año	%
1980	5272.7	3390.1	64.3
1981	5027.3	3533.4	70.3
1982	4340.9	2663.2	68.3
1983	4545.4	3612.2	79.5
1984	4727.3	3016.7	63.8
1985	1937.7	2671.3	54.1
1986	5019.5	2267.3	45.2
1987	5434.1	2518.2	46.3
1988		3458.2	
1989		2872.5	

Honduras

En Honduras la producción total de semilla de maíz creció en forma acelerada durante la década de 1980. En el Cuadro 5 se presenta una serie histórica de nueve años (1980-88) que muestra la evolución de producción total de semilla certificada de maíz y de la demanda potencial de semilla en Honduras. La producción de semilla presentó una tasa anual de crecimiento de 317.3%, que muestra la importancia que los agricultores atribuyen a este insumo en su búsqueda por mejorar la producción y productividad del maíz. Sin embargo también el comportamiento de

demanda potencial por semilla creció durante el período a una tasa anual de 25.5%.

Cuadro 5. Producción y demanda de semilla certificada de maíz en Honduras.

AÑOS	Demanda potencial	Producción	Porcentaje cubierto
	ton	ton	%
1980	6128.0	225.0	4.4
1981	6242.0	497.0	10.1
1982	6356.0	234.0	6.6
1983	6470.0	377.0	12.5
1984	6584.0	273.0	6.9
1985	6698.0	495.0	8.4
1986	6812.0	576.0	11.1
1987	7827.0	1079.0	13.7
1988	7689.0	939.0	12.6

Fuente: Poesy, Federico *et al*, Plan Integrado de Acción para el Desarrollo de la Industria Nacional de Semillas. ADG Tegucigalpa D.C. 1987.

Costa Rica

En Costa Rica durante los años 1980-88 el comportamiento de la producción total de semilla de maíz presentó un comportamiento fluctuante. El Cuadro 6, muestra la evolución de la producción de semilla certificada de maíz y de la demanda potencial en Costa Rica durante el período 1980-1988. La serie muestra que la producción de semilla se ha incrementado en aproximadamente un 35% siguiendo a la demanda potencial que también muestra una tendencia creciente hasta el año 1986, donde la curva alcanza su pico más alto (1,143.9 tm), a partir de ese año comienza a decrecer. La producción cubre aproximadamente una quinta parte en promedio durante los nueve años analizados.

Cuadro 6. Producción y demanda potencial de semilla certificada de maíz, Costa Rica (ton).

Años	Demanda potencial	Producción			Porcentaje cubierto
	t/año	VPL t/año	Hib t/año	Total t/año	%
1980	717	46	94	140	20
1981	744	18	83	101	14
1982	839	152	28	180	22
1983	941	192	81	272	29
1984	927	90	152	241	26
1985	1050	25	40	65	6
1986	1144	200	54	253	22
1987	932	94	38	132	25
1988	892	123	65	188	22

Fuente: Oficina Nacional de Semillas y Consejo Nacional de la Producción -CNP

En lo que respecta a los tipos de semilla que se producen, las semillas de variedades de polinización abierta de maíz presentan una tasa de crecimiento del 66%; mientras que las semillas de materiales híbridos decrecen en el período (-30.4%) lo que demuestra el poco interés por estos materiales en los últimos 6 años.

IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE SEMILLA CERTIFICADA DE MAIZ

Guatemala

En Centroamérica, Guatemala se ha identificado por ser un exportador neto (exportaciones - importaciones) de semilla de maíz. El Cuadro 7, muestra una serie histórica de seis años, donde se observan las importaciones y exportaciones de semilla de maíz que el país realizó durante este período. En general las exportaciones netas de importaciones han declinado durante el mismo. Dos años merecen destacarse: 1987 con un record en las exportaciones y 1989 donde se registra un volumen de importaciones superior a las exportaciones. La cifras en el primero de estos años se podría deber a que en dicho año el Proyecto PROGETTAPS alcanzó su máximo nivel de producción de semilla certificada de maíz (ver cuadro 2). En cuanto a 1989 ingresaron al país un total de 100.7 tm. aproximadamente el 75% provino de los demás países del área Centroamericana y el restante porcentaje (25%) del mercado de los Estados Unidos.

Cuadro 7. Importaciones y exportaciones de semilla de maíz, Guatemala, 1986-1991.

Años	Importaciones	Exportaciones	Exportaciones netas
1986	4.0	133.9	129.9
1987	0.4	1368.2	1367.8
1988	87.0	284.9	197.9
1989	100.7	62.2	-38.5
1990	47.1	69.8	22.7
1991	23.7	74.0	50.3

Fuente: Departamento De Cuarentena Vegetal -DIGESA

Otros Países del área

Con excepción de El Salvador y Guatemala, los países Centroamericanos, se caracterizan porque la semilla de maíz utilizada es importada. El Cuadro 8 presenta los volúmenes importados y exportados de los países del istmo durante 1986 y 1987. En esos años el volumen importado ascendió a 121 t., en el

primero de los años analizados. El 86% de este volumen fue originario de países ajenos al Mercado Común Centroamericano (especialmente Estados Unidos); en tanto que en 1987, el 76% de la semilla importada se realizó entre los mismos países del área. El Salvador se constituyó en el único país donde no se registró importación durante los dos años estudiados.

Cuadro 8. Importaciones y exportaciones de semilla de maíz en Centroamerica, 1986 y 1987.

Países	Exportaciones t/año		Importaciones t/año	
	1986	1987	1986	1987
Guatemala	29.0	440.0	7.0	4.0
El Salvador	91.0	50.0	0	0
Honduras	0	0	5.0	6.0
Nicaragua	0	0	8.0	-0
Costa Rica	0	0	1.0	120.0
Total	120.0	490.0	21.0	130.0

Fuente: Anuario de Exportaciones e Importaciones -SIECA

Guatemala y El Salvador, fueron los países del área que durante el período 1986-1987 exportaron semilla de maíz. Sumados los dos años, el volumen exportado ascendió a 610 tm. En 1986 El Salvador exportó el 76% del total, con destino a Honduras (78%) y, Belice (22%). En 1987 Guatemala fue el principal exportador con un 90% del total. Los destinos principales de la semilla fueron: Nicaragua (73 %), Honduras (14 %), y Costa Rica (2 %)/

COSTOS DE PRODUCCION DE SEMILLA EN GUATEMALA

Para cuantificar la rentabilidad que obtendría un agricultor productor de semilla certificada, se calcularon los costos e ingresos que se presentan en el Cuadro 9. El costo por kg de semilla se obtiene dividiendo el costo total por ha entre el rendimiento. Tomando un rendimiento de 2841 kg/ha. el costo por kg. de semilla es de 1.95 Q/kg. Con este nivel de productividad física, y tomando 4.18 Q/kg como precio de venta de la semilla la rentabilidad promedio resultante de producir una hectárea es de 114 %. Es decir que la producción de semilla mejorada de maíz en Guatemala a este nivel de productividad y precios es una actividad con una excelente rentabilidad económica.

Al relacionar los costos directos con los indirectos, los primeros representan el 71% de los costos totales y

los segundos el 29 %. En cuanto a los costos directos, los rubros de mayor significancia se concentran en las prácticas culturales (pago mano de obra por la aplicación de fertilizantes, insecticidas, herbicidas, limpias y riego) y en la cosecha (procesamiento y almacenamiento), ambos representan el 64% de este tipo de costos.

Cuadro 9. Estimación de los costos de producción de semillas certificada de maíz en Guatemala.

Rubro	Costo Q/ha
COSTOS DIRECTOS	
1.1. Preparación suelo	281
a. Rayado	50
1.2. Siembra	65
1.3 Prácticas culturales	
a. Fertilización	130
b. Aplicación insecticidas	293
c. Aplicación herbicidas	130
d. Limpia (mecanizada)	50
e. Limpia manual	195
f. Aporque	50
g. Descontaminación	33
h. Riegos (8)	391
1.4. Cosecha	
a. Tapizca	130
b. Transporte interno	31
c. Secado y selección	130
d. Desgrane	65
e. Desgrane mecanizado	47
f. Procesamiento	578
g. Almacenamiento (6 meses)	281
1.5. Insumos	
a. Semilla	150
b. Tratador de semilla	31
c. Fertilizantes	
18-46-0	183
Sulfato de calcio	15
Úrea	150
Costales	31
Herbicidas	113
Insecticidas	225
Sub-total	898
Total Costos Directos	3943
COSTOS INDIRECTOS	
Administrativos 10% CD	394
Imprevistos 10% CD	394
Intereses 21% 6 meses	414
Arrendamiento	313
Transporte	78
Total Costos Indirectos	1593
Costo total (CD+CI)	5537
Ingreso Bruto (IB)	1188
Ingreso Neto (IB-CT)	6338

Fuente: Dirección Técnica de Semillas DIGESA -

ASPECTOS DE COMERCIALIZACION

Mercadeo Interno de la Semilla

Ninguna semilla agrícola podrá ofrecérsele al público como semilla certificada, si no lleva etiqueta respectiva conteniendo la siguiente información: a) Nombre y dirección de la persona que etiquetó la semilla o que vende la semilla. b) Número de registro; c) Clase y variedad; d) Origen; e) Porcentaje de peso de semilla pura; f) Porcentaje de peso de materia inerte; g) Malezas secundarias y número de semillas presente, por onza o por libra y h) Porcentaje de germinación y fecha en que se efectuó. En igual forma no podrá venderse ninguna semilla agrícola, si no han transcurrido seis meses de haberse efectuado la última prueba de germinación, para realizar la venta, se debe efectuar otra prueba de germinación.

Precios de la Semilla Certificada en Guatemala

El precio de la semilla certificada de maíz en Guatemala se caracteriza por no ser objeto de una regulación estatal; actualmente el precio se fija por las libres fuerzas del mercado. Se puede decir que en el mercado de semillas existen básicamente dos precios: 1) El precio fijado por ICTA en donde esta institución se convierte en un oferente más en el mercado, dicho precio se caracteriza por ser relativamente inferior al ofertado por la iniciativa privada y 2) El precio fijado por la iniciativa privada, éste generalmente es más elevado que el anterior.

En el Cuadro 10, se presenta una serie histórica de varios años que corresponden a precios fijados por el ICTA, para semilla certificada de maíz de variedades (altiplano y tropical) e híbridos. Al analizar el precio de las variedades del altiplano y el trópico y los híbridos, es notorio un incremento significativo que obedece a varios factores, especialmente al incremento en los insumos incorporados al proceso productivo, el valor de la mano de obra, así como los costos de transporte, secado, procesamiento, almacenamiento, etc. Las variedades del altiplano se incrementaron desde 1980 hasta 1992 en un 483%; las del trópico en un 566% y los híbridos 494%. La mayor variación en los precios ofertados por el ICTA, tanto para variedades como híbridos se observaron a partir del año 1992. El Cuadro 11 presenta los precios de diferentes casas comerciales que ofrecieron semilla certificada de maíz a diferentes precios durante el mes de abril de 1991.

Cuadro 10. Precios de semilla certificada de maíz comercializada por ICTA, Guatemala.

AÑOS	Precio de semilla de maíz por tipo		
	Altiplano	Trópico	Híbrido
1980	0.52	0.66	0.81
1982	0.52	0.70	0.88
1986	0.55	0.88	1.14
1988	0.66	1.10	1.43
1990	1.98	2.42	3.30
1991	1.98	4.18	4.84
1992	3.08	4.40	4.84

Fuente: Disciplina de semillas -ICTA-

Cuadro 11. Precios de semilla certificada de maíz comercializada por casas comerciales, Guatemala.

Casa comercial	Semilla	Precio Q/kg
Cristiani	Híbridos	6.14
Burkard	VPL	4.95
Seminal	Híbridos	5.83
	VPL	4.95
Semeca	Híbridos	6.16
Superb agrícola	Híbridos	6.07
	VPL	4.62

Política sobre la Industria de Semilla en Guatemala

En el agro guatemalteco no se puede hablar de una política como tal sobre la industria de semillas; a pesar de esta debilidad el sector público agropecuario ejecuta a través de sus instituciones un programa de seguridad alimentaria, orientado a asegurar el abastecimiento de alimentos a la población, así como mejorar y fortalecer los patrones alimentarios. Dentro de este programa se contempla el rubro de semilla certificada para granos básicos.

La Dirección Técnica de Semillas de DIGESA, considera que las limitaciones principales que obstaculizan el desarrollo de la producción de semillas son entre otras: 1) Falta de definición de políticas; 2) Falta de una ley de semilla actualizada; 3) Insuficiente capacidad de las instituciones del sector público agrícola que se vinculan con aspectos de semillas; y 4) Falta incentivos para el desarrollo de una industria semillista en el país.

REFERENCIAS

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (CIMMYT). 1987. Hechos y tendencias mundiales relacionados con el maíz. Aspectos económicos de la producción de semilla de variedades comerciales de maíz en los países en desarrollo. México D.F.

Dávila, J.A. 1977. Diagnóstico de la Certificación de semilla de granos básicos en Guatemala. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Dirección General de Servicios Agrícolas -DIGESA-. Departamento de Cuarentena Vegetal. Anuario de Exportaciones e Importaciones. Guatemala 1986 - 1991.

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas -ICTA-. Dirección General de Servicios Agrícolas -DIGESA-. 1991. Seminario sobre el Proyecto de Generación, Tránsito y Producción de Semilla. PROGETTAPS. Guatemala.

Ministerio de Agricultura, Gandería y Alimentación. Unidad Sectorial de Planificación Agropecuaria y de Alimentación -USPADA-. Recopilación de Estadísticas Agropecuarias. Guatemala. 1980 - 88.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Programas Prioritarios. Guatemala. 1989.

Ministerio de Agricultura. 1961. Normas Reglamentarias

Organización de la Producción de Semillas

La organización de la producción de semillas en Guatemala, básicamente se realiza bajo tres macro etapas:

a) Producción: La producción es realizada a través de ICTA y el sector privado. El ICTA, genera y a la vez produce material básico; y la iniciativa privada genera y produce material y semilla comercial.

b) Certificación: La institución en Guatemala encargada de certificar semilla, es la Dirección General de Servicios Agrícolas -DIGESA- a través de la Dirección Técnica de Semillas y de las Agencias Regionales, quienes realizan el control de calidad de la semilla a nivel de campo y de laboratorio.

c) Comercialización: Esta etapa es realizada a través del ICTA e iniciativa privada. El ICTA, comercializa aproximadamente el 2% de la semilla certificada que demanda el mercado, en igual forma oferta otros materiales de semillas (Fundación, Genética, Registrada). Es importante destacar que también el ICTA brinda a los semillistas el servicio de procesamiento. El Sector Privado, oferta en el mercado semilla certificada de maíz producida localmente y material importado.

para la Producción, Certificación y comercialización de semillas agrícolas y forestales, Guatemala.

Secretaría de Integración Económica Centroamericana -SIECA-- Anuarios de Exportaciones e Importaciones. 1986 - 1987.

Schmoock, W. y L.M. Castillo. 1989. Perfil de Maíz. Guatemala. Sus implicaciones en el establecimiento de prioridades de Investigación. CIMMYT. Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe. Guatemala.

Schmoock, W. y E. Ascencio. 1989. Perfil de Maíz, El Salvador sus Implicaciones en el establecimiento de prioridades de investigación. CIMMYT. Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe. El Salvador.

Schmoock, W. y A.R. Silva. 1989. Perfil del Maíz, Honduras sus Implicaciones en el establecimiento de

prioridades de investigación. CIMMYT. Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe. Honduras.

Schmoock, W. y R. Urbina. 1989. Perfil del Maíz, Nicaragua, sus implicaciones en el establecimiento de prioridades de investigación. CIMMYT. Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe. Nicaragua.

Schmoock, W y K. Jiménez. 1989. Perfil de Maíz, Costa Rica sus implicaciones en el establecimiento de prioridades de investigación. CIMMYT. Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe. Costa Rica.

Schmoock, W. y A. Alvarado. 1989. Perfil del Maíz, Panamá. Sus implicaciones en el establecimiento de prioridades de investigación. CIMMYT. Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe. Panamá.

Caracterización del Mercado de Fertilizantes en Guatemala

Carlos Valladares¹

RESUMEN

En este trabajo se realiza un análisis descriptivo de la industria y comercialización de los fertilizantes químicos en Guatemala. Aunque la oferta de fertilizantes ha declinado en el período bajo estudio, las importaciones, especialmente de fertilizantes nitrogenados, han aumentado considerablemente. Los precios de los fertilizantes al productor se han incrementado a tasas superiores a aquella de la inflación. Esto se debe probablemente a que la mayoría de los fertilizantes son importados, y las políticas económicas seguidas en el período han encarecido las importaciones. Se debe realizar un análisis más profundo de las estructuras de comercialización interna del fertilizante a fin de hacer este importante insumo más fácilmente asequible a los pequeños agricultores de granos básicos de Guatemala.

La agricultura en Guatemala, constituye uno de los rubros de mayor importancia, si se analizan ciertas variables macroeconómicas como son el Producto Interno Bruto -PIB-, la generación de población económicamente activa -PEA- y en especial el ingreso de divisas, a la economía del país vía exportaciones. En tal sentido, dentro del Sector Agrícola de Guatemala, se deben adoptar Políticas Tecnológicas tendientes a la búsqueda de un mejor desarrollo del agro.

Dentro de estas políticas juega un papel importante los insumos que se incorporan al proceso productivo y que pueden contribuir a mejorar el nivel de rendimiento de los diferentes cultivos, dentro de esos insumos los fertilizantes juegan un papel preponderante. Al mencionar políticas tecnológicas, se está involucrando dentro de las mismas, el rol que desempeña el mercado como oferente de los distintos insumos que los agricultores demandan.

En el presente trabajo, se hace un análisis de las características que muestra el mercado de fertilizantes en Guatemala; dicho estudio se sustenta en información secundaria y en el se incluyen aspectos como son la producción nacional de fertilizantes, los volúmenes importados de fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos; y las pequeñas exportaciones que Guatemala hace a otros mercados. En igual

forma se incluye la forma de comercializar los fertilizantes en cada una de sus fases; y finalmente con la escasa información estadística que se logró obtener, se estimó el consumo aparente de fertilizantes durante los años 1980 a 1987.

Los objetivos que orientaron la investigación estuvieron en función de: caracterizar el mercado Guatemalteco en términos de disponibilidad (oferta) actual y futura, precios a los agricultores, márgenes de comercialización, ventas, etc. La metodología se sustentó en los aspectos siguientes: Revisión bibliográfica sobre tópicos afines al tema; recopilación de datos con informantes claves; recopilación de información con empresas localizadas en el interior del país; recopilación de información en instituciones nacionales, regionales, internacionales y tabulación y análisis de la información recopilada.

Finalmente es importante resaltar lo difícil que resultó la búsqueda de información de datos estadísticos actualizados a nivel de mayor detalle; al mismo tiempo las empresas comercializadoras de fertilizantes en el país no brindan la información necesaria como para realizar un mejor análisis de la situación.

RESULTADOS

La Oferta y la Producción Nacional de Fertilizantes

La producción de fertilizantes en Guatemala, constituye uno de los elementos más importantes que integran la oferta, conjuntamente con las importaciones que el país realiza. En el Cuadro 1, se presentan la cantidad y el valor de la producción de fertilizantes en el país durante el período 1980-87. Por falta de información no se separan las fórmulas de fertilizantes producidos en el país. Los datos presentan una tendencia decreciente del orden de -0.11% en términos generales sin embargo, es importante destacar la serie de 1980 a 1985, donde los niveles de producción adquirieron un comportamiento significativo, si se toma en cuenta el escaso grado de desarrollo tecnológico que Guatemala tiene en la producción de fertilizantes.

¹Investigador de la Unidad de Socioeconomía, ICTA, Guatemala.

Cuadro 1. Cantidad y valor de la producción de fertilizantes en Guatemala, 1980-1987.

Años	Cantidad (TM)	Valor/Producción (Quetzales)
1980	2822712.00	5790.30
1981	6368866.50	25601.30
1982	7160785.50	26635.10
1983	6912299.80	24856.70
1984	8560926.10	33833.90
1985	7598718.60	39688.90
1986	43518.10	39983.30
1987	19913.50	56287.60

Fuente: Instituto Nacional de Estadística -INE.

De los fertilizantes producidos el mayor porcentaje es consumido en el mercado interno y pequeñas cantidades exportadas especialmente a los países del área centroamericana

El valor de la producción asume un comportamiento contrario a los volúmenes producidos, toda vez que los valores monetarios presentan una tendencia creciente del orden de 4.33 %. Dicha tendencia encuentra algunas de sus explicaciones, especialmente en el incremento en el costo de los insumos necesarios para la fabricación de fertilizantes, los cuales son importados en su mayor porcentaje.

Es importante destacar que a partir de los años 80s a nivel centroamericano; Guatemala adquirió cierta importancia como productor y formulador de ciertos fertilizantes, especialmente por la ventaja comparativa

que el país posee, en cuanto a la existencia de ciertos elementos utilizados en la fabricación de éstos. El Cuadro 2, muestra la cantidad y valor de la producción por tipo de producto elaborado en los años 1988-90. Las cantidades con mayor significancia se observan en el rubro "Otros Abonos y Fertilizantes no Especificados" (NEP no especificados). En términos generales, la cantidad producida de fertilizantes en los años 1988 a 1990, muestra un comportamiento muy similar en cada uno de los años, es notorio la variación que se presenta en el valor de la producción, especialmente por la tendencia decreciente mostrada en el bienio 1989-90 comparada con 1988, donde el valor ascendió a Q 72.7 millones de quetzales.

Importaciones de Fertilizantes

El desarrollo de la actividad agrícola guatemalteca y el país como tal, se ha caracterizado por ser un importador neto de los diversos fertilizantes que en el mercado se demandan. En el Cuadro 3, se presentan cifras estadísticas para un período de ocho años (1980-1987), en concepto de volumen y valor monetario.

En cuanto al volumen importado, en la serie considerada se observa una tendencia creciente; siendo el año 1987 donde se presenta los volúmenes más significativos con 402.5 miles de TM. Es también importante observar, lo que significó esa importación de fertilizantes en aspectos monetarios, en donde fue necesario contar con la cantidad suficiente de divisas para hacer frente a dicha importación.

Cuadro 2. Cantidad y valor de la producción de fertilizantes por tipo de producto (años 1988-90) (expresado en TM y Quetzales).

TIPO DE PRODUCTO	AÑO 1988		AÑO 1989		AÑO 1990	
	Cantidad	Valor (En miles)	Cantidad	Valor (En miles)	Cantidad	Valor (En miles)
Nitrógeno	1572	58612	3493	42152	1732	155397
Sulfato	1757	302051	---	---	---	---
Sulfato de Amonio	821884	4962419	306591	1926924	---	---
Sulfato de Potasio	185	292034	---	---	---	---
Otros abonos y fertilizantes NEP	5627115	67014146	3634824	42154616	3093464	36033366

Cuadro 3. Volumen y valor monetario de las importaciones de abonos manufacturados, 1980-1987, Guatemala (en TM y \$CA).

Años	Volumen	Valor Monetario (miles)
1980	224552	43124
1981	233252	50722
1982	211074	30906
1983	154961	26839
1984	214982	36030
1985	208486	37295
1986	267754	66559
1987	402532	90857

FUENTE: Anuarios de Exportaciones e Importaciones. SIECA \$CA 1.00 = \$ U.S. 1.00

El año de menor significancia en valores monetarios fue 1983, con \$CA 26839 miles, lo que representó un valor aproximado de \$CA 8.6/qq por fertilizante importado. Para efectos de comparación se puede observar que en el año 1987, el precio por quintal de fertilizante manifestó un incremento del 30%.

Fertilizantes Nitrogenados

En Guatemala, la demanda de fertilizantes nitrogenados, es satisfecha a través de la importación de estos insumos. En el Cuadro 4, se presentan los volúmenes ingresados al país, así como la representación monetaria que esas importaciones han significado. Al respecto, se señala que el 99% de los fertilizantes nitrogenados proceden de mercados fuera de Centroamérica. Dentro de los principales proveedores en el período estudiado, ocupan gran importancia el mercado de los Estados Unidos y el de los Países Bajos, como los principales proveedores del mercado nacional. Los mayores volúmenes de fertilizante importado, fueron llevados a cabo en el año 1987 (315 707 TM), en donde el precio ascendió a un valor Cif aproximado de \$CA 10.76/qq.

Fertilizantes Fosfatados

En Guatemala la demanda de fertilizantes fosfatados, es satisfecha a través de las importaciones de estos insumos. En el Cuadro 5, se presentan los volúmenes de importación y el respectivo valor monetario. Como puede observarse el comportamiento de las importaciones en el período analizado presenta una tendencia decreciente tanto en los volúmenes como en los valores monetarios. En dicho cuadro, se observa disminución en el volumen

de fertilizantes importados en el orden de 23 005 TM de 1980 a 1987, lo cual puede contribuir a formarse una idea, que este tipo de insumo se comienza a fabricar en el mercado nacional. La disminución es también notable en la cantidad de divisas necesaria para realizar las importaciones.

Entre los principales mercados que proveen a Guatemala de este tipo de fertilizantes, cabe señalar el de los Estados Unidos, que durante el período estudiado representó el 67% de los diversos fertilizantes fosfatados que se demandaron en el mercado guatemalteco. En igual forma, en un segundo orden de importancia se destacaron los mercados de Rumania y Los Países Bajos (Holanda) con el 18% y 12% respectivamente.

Fertilizantes Potásicos

En Guatemala la demanda de fertilizantes potásicos, se logra satisfacer a través de la importación total de dichos insumos. En el Cuadro 6, se presenta una serie histórica (1980-1987) que muestra el comportamiento de las importaciones, tanto en volumen como su representación en valores monetarios. En cuanto a volúmenes, se observa en los años considerados una tendencia cíclica, en donde las importaciones pico se presentaron en 1981, 1984 y 1986. Entre los principales fertilizantes potásicos importados se encuentran Muriato y Sulfato de Potasio.

Los principales mercados proveedores para Guatemala, en lo que respecta a fertilizantes potásicos, en la serie estudiada (1980-1987), fue el mercado de los Estados Unidos el que representó el mayor porcentaje con un 44% a pesar de que durante 1983 a 1987 los porcentajes se vieron fuertemente disminuidos. Otros de los mercados de gran relevancia fueron Alemania Federal con un 17.3%, básicamente en los años 1984, 1985 y 1986 y Canadá, y 17%, en los años 1986-1987, cabe señalar a este país como el mayor proveedor para el bienio antes mencionado.

Exportaciones de Fertilizantes

De acuerdo con la serie estadística analizada en el Cuadro 7, se observa que los volúmenes (TM) exportados de fertilizantes, presentan una tendencia creciente en los primeros dos años de la serie.

Cuadro 4. Importaciones de fertilizantes nitrogenados, 1980-1987, Guatemala (en TM y SCA).

Años	Totales		Mercado Común		Otras Areas	
	TM	Miles \$ CA	TM	Miles\$ CA	TM	Miles\$ CA
1980	128692	23676	3054	611	125638	23065
1981	142157	31825	303	74	141854	31751
1982	64208	13383	80	24	64128	13359
1983	96070	16567	84	48	95986	16519
1984	115684	16741	40	20	115644	16721
1985	126050	21130	128	30	125922	21100
1986	185505	42135	--	--	185505	42135
1987	315707	67943	--	--	315707	67943

Fuente: Anuarios de Exportaciones e Importaciones SIECA. \$CA 1.00 = \$ U.S. 1.00

Cuadro 5. Importaciones de fertilizantes fosfatados (incluye los superfosfatados y la escoria básica de la desfosforización) 1984-1987, Guatemala.

Años	Totales		Mercado Común		Otras Areas	
	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA
1980	65375	13356	--	--	65375	13356
1981	66685	13964	--	--	66685	13964
1982	68401	11245	--	--	68401	11245
1983	46174	7543	10	3	46164	7540
1984	17734	3904	--	--	17734	3904
1985	30601	6456	22	4	30579	6452
1986	40155	7895	--	--	50155	7895
1987	42370	8076	--	--	42370	8076

Fuente: Anuarios de Exportaciones e Importaciones SIECA. \$CA 1.00 = \$ U.S. 1.00

Cuadro 6. Importaciones de fertilizantes potásicos, 1980-1987, Guatemala (en TM y SCA).

Años	Totales		Mercado Común		Otras Areas	
	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA
1980	17724	2621	--	--	17724	2621
1981	20740	3338	--	--	20740	3338
1982	6977	886	301	85	6676	801
1983	6889	1045	--	--	6889	1045
1984	27454	3607	--	--	27454	3607
1985	12186	1842	--	--	12186	1842
1986	23123	4778	--	--	23123	4778
1987	16807	5802	--	--	16807	5802

Fuente: Anuarios de Exportaciones e Importaciones SIECA. \$CA 1.00 = \$ U.S. 1.00

Cuadro 7. Volumen y valor de las exportaciones de fertilizantes manufacturados, Guatemala, 1980-87.

AÑOS	VOLUMEN	VALOR
	TM	MONETARIO Miles \$CA
1980	27711	4787
1981	60298	5174
1982	62167	5573
1983	55808	5021
1984	53884	4445
1985	57705	3298
1986	15136	702
1987	516	252

Fuente: Anuarios de Exportaciones e Importaciones SIECA. \$CA 1.00 = \$ U.S. 1.00

A partir de 1983, la tendencia asume un comportamiento decreciente en una forma significativa. Igual comportamiento se observa en el caso de los valores monetarios ingresados a la economía del país, por concepto de exportaciones de fertilizantes.

Fertilizantes Nitrogenados

Las mayores exportaciones de fertilizantes que Guatemala realizó en la década de los años 80s fue en concepto de productos nitrogenados. En el Cuadro 8, se puede observar que los volúmenes exportados si se comparan el año 1980 (28,203 tm) con los siguientes

años se nota un crecimiento significativo; sin embargo, a partir de 1981 a 1985 las cantidades exportadas no presentaron mayor cambio, ya que se continuó con los mismos volúmenes.

Es necesario señalar que mientras los volúmenes asumen un comportamiento casi constante, en cuanto a cantidades exportadas se refiere, el ingreso de divisas se ha visto disminuído. En 1980 representaron \$CA 5044000.00 y en 1985 \$CA 3295000.00, lo que significa una disminución de \$ CA 1749000.00. Aproximadamente el 98 % de las exportaciones de fertilizantes nitrogenados, tienen como destino mercados fuera de Centroamérica, especialmente México; en menor proporción a los países centroamericanos.

Fertilizantes Fosfatatos

Las exportaciones de fertilizantes fosfatados, en términos generales para el período analizado se considera de baja significancia, tanto en volumen como en el ingreso de divisas a la economía del país. El mayor porcentaje de estas exportaciones se canalizan a México.

En el Cuadro 9, se presentan las estadísticas que reflejan el comportamiento de las exportaciones de esta clase de fertilizantes tanto en volúmenes como en cantidades (Tm) Los datos recabados muestran a los años 1982, 83 y 86, como los más representativos; y al mercado de México como el principal demandante. Los años que muestran datos estadísticos, se alcanzó un nivel de exportación de 2756 Tm, lo que significó un ingreso de divisas de \$CA 470.000.00.

Fertilizantes Potásicos

En el Cuadro 10, se presenta una serie histórica de cuatro años, donde se puede observar los volúmenes exportados y las cantidades de divisas que ingresaron al país. El mercado salvadoreño, se constituyó en el principal demandante de los fertilizantes potásicos especialmente en los años 1983-84. El volumen exportado durante el período ascendió a 469 Tm , lo que representó en divisas a la economía del país \$CA 168.000.

Almacenamiento

La estacionalidad de la demanda de fertilizantes en Guatemala, hace que sea difícil mantener cantidades considerables en almacenamiento primario y secundario para una distribución más diversificada.

En el país básicamente existen dos temporadas que representan la mayor demanda de fertilizantes. Cuando existen dos temporadas de consumo, la capacidad máxima de almacenamiento es de aproximadamente 40% del consumo anual. La mayor parte de la acumulación de existencias por parte de las empresas proveedoras, se localiza en lugares estratégicos para su posterior distribución (al por menor - al por mayor).

Uno de los problemas más importantes que han afrontado las empresas que se localizan en el mercado nacional de fertilizantes, es lo relacionado al empaque, el cual se ha resuelto con el empleo de sacos de plástico.

Transporte

La disponibilidad de eficientes medios de transporte, pueden constituirse en elementos importantes para mejorar el mercadeo de los fertilizantes; por el contrario un deficiente sistema de comunicaciones puede constituir el principal obstáculo para la organización de la venta de los fertilizantes. El costo del transporte en el país, se constituye en el determinante principal del precio final de los fertilizantes para el usuario, especialmente por las distancias que se deben recorrer para ponerlos a disposición de los agricultores.

Los precios varían de una región a otra. Aproximadamente el precio promedio por quintal transportado de la ciudad capital hacia el interior, oscila entre 5 y 15% del precio al por menor. Es importante destacar, que las empresas más fuertes proveedoras de fertilizantes en el mercado guatemalteco, estratégicamente tienen ubicadas bodegas en las diferentes regiones agrícolas del país donde se concentra la mayor demanda de estos insumos.

Canales de comercialización

Las características más importantes en un sistema de mercadeo competitivo, consiste en que puedan entrar en el negocio de distribución de fertilizantes, nuevas empresas o personas, mayoristas, según se estime conveniente. Esto significa que si un distribuidor de fertilizantes establece un precio demasiado alto o un servicio deficiente, otra(s) empresa(s) es libre de competir con este distribuidor y, atraer alguna de su clientela. El demandante estará en posibilidad de elegir entre múltiples abastecedores que le ofrecen el mejor servicio por el mínimo costo.

Cuadro 8. Exportaciones de fertilizantes nitrogenados de Guatemala, 1980-1987.

Año	El Salvador		Honduras		Nicaragua		Costa Rica		Panamá		Otras áreas		Total	
	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	\$ CA
1980	34	21	491	101	22	80	81	56	46	33	27525	4753	28203	5044
1981	6	1	52		36	39	69	53	47	81	57501	4321	57711	4548
1982	204	55	1707	543	--	--	19	6	1	--	56679	4412	58610	5016
1983	41	97	9	12	--	--	4	52	2	26	58485	4318	58541	4505
1984	61	15	2	3	--	--	--	--	--	--	58821	4398	58884	4416
1985	36	53	--	--	--	--	--	--	--	--	57623	3242	57659	3295

Fuente; Anuarios De Exportaciones E Importaciones SIECA. \$CA 1.00 = US \$ 1.00

Cuadro 9. Guatemala: exportaciones de fertilizante fosfatados, superfosforados y la escoria básica de la desfosforización, 1980-1987.

Años	El Salvador		Honduras		Nicaragua		Costa Rica		México		Total	
	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA
1981	--	--	--	--	--	--	6	6	--	--	6	6
1982	--	--	303	91	--	--	--	--	2369	219	2672	310
1983	67	146	1	0	3	1	--	--	--	--	69	147
1984	--	--	9	7	--	--	--	--	--	--	9	7

Cuadro 10. Exportaciones de fertilizantes potásicos por destino. Guatemala, 1981-1987.

AÑOS	EL SALVADOR		HONDURAS		BELICE		TOTAL	
	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA	TM	Miles \$ CA
1981	1	0	23	7	--	--	24	7
1982	--	--	7	1	--	--	7	1
1983	184	54	--	--	--	--	184	54
1984	181	33	--	--	73	13	254	106

FUENTE: Anuarios de Exportaciones e Importaciones SIECA. \$CA 1.00 = \$ U.S. 1.00

En la década de los años 70s en Guatemala, era notorio observar un mercado monopolístico, donde una empresa presentaba un pleno dominio (FERTICA). A partir de los años 80s se da una apertura en el negocio de los fertilizantes y empiezan a surgir un conjunto de empresas (DISAGRO, NORDIK, UXSA, INCISA), con operatividad a nivel nacional; esto viene a representar ventajas comparativas para el agricultor consumidor de fertilizantes, especialmente en aspectos de precios y existencia de los productos.

Sistema Gubernamental de Distribución

En Guatemala a partir del año 1986 se pone en ejecución un sistema de política económica abierta, en donde el Estado en el caso particular asume un papel participativo en el sistema de distribución de fertilizantes; dicho papel significó un impacto positivo entre los demandantes de estos insumos, pues les permitió acceso, estabilidad en los precios, reducción

de los costos de producción, incremento en la eficiencia y productividad de la tierra y finalmente mejorar el nivel de vida de la población rural.

En el año 1985-86 los fertilizantes químicos en el mercado mundial experimentaron un incremento considerable en su precio; lo cual obviamente afectó el desarrollo agrícola de Guatemala. Ante esta situación el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, planteó las estrategias para contribuir a regular el precio de tales productos. En tal sentido, se formuló un proyecto orientado a la compra de fertilizantes por parte del gobierno y venta de los mismos a los pequeños agricultores a precios razonables y al estricto contado, sin que esto constituyese un subsidio por parte del Estado, ni se pretendía por lo tanto, substituir la actividad comercial del sector privado en este campo.

El proyecto tuvo cobertura nacional, con atención específica a los pequeños agricultores, productores de

artículos de la canasta básica familiar. Se inició en 1986 habiendo distribuido en una primera fase 360.000 quintales. El precio de venta fue de 15.00 quetzales por quintal, los principales fertilizantes ofertados fueron 15-15-15, 20-20-0 y urea. Durante ese mismo año y como complemento a la primera fase, se obtuvo por parte del Gobierno de Italia una donación de 220.000 quintales de fertilizante 15-15-15, sulfato de amonio y urea, los cuales fueron entregados a grupos organizados (cooperativas, asociaciones, etc), el precio para sulfato de amonio fue de Q 12.10/qq y Q17.60/qq para la fórmula 15-15-15 y la urea.

En 1987 en una segunda fase se compraron 700.000 quintales de urea, 15-15-15 y 20-20-0, con una inversión de 12228000.00 los precios para ese año fueron de Q 18.50/qq el 15-15-15, Q 18.50/qq el 20-20-0 y Q 15.50/qq la urea. En forma directa se beneficiaron a 460.000 familias que recibieron directamente el fertilizante en 1986-87, en igual forma indirectamente también se favorecieron todos los guatemaltecos que obtuvieron alimentos a precios más accesibles. Este sistema gubernamental de distribución, no consistió en una competencia desleal con el sector comercial privado que se decía a este tipo de actividades, puesto que de 11808432.00 quintales de fertilizantes que el país importó en esos periodos, el Ministerio de Agricultura logró comercializar 640.000 quintales (entre 1986-1987), lo cual representa un 5.4% del consumo total antes indicado

Márgenes de comercialización

La diferencia entre el precio de fertilizante en fábrica y lo que se cobra al agricultor, está en función de los costos iniciales y márgenes retirados por los manipuladores en el intervalo. Los márgenes de las distintas empresas proveedoras de fertilizantes ubicadas en el mercado guatemalteco, están constituidas por las diferencias entre el precio impuesto en cada fase del mercadeo, entre el fabricante o el importador y mayorista, entre el mayorista y el minorista, entre el minorista y el agricultor, por lo tanto, existirán márgenes de beneficio entre los precios que se establezcan en las sucesivas fases de la distribución de fertilizantes.

Precios

En el Cuadro 11 se presenta una serie histórica de trece años, donde se puede observar el comportamiento adoptado por el precio de los cinco fertilizantes de mayor demanda en el país. El análisis

se divide en tres fases: a) -De 1980 a 1985: Los precios de los cinco productos, en términos generales permanecieron sin mayores variaciones; b) -De 1986 a 1989: En esta segunda fase, los precios presentaron una tendencia a incrementarse aproximadamente en un 100% con respecto a la primera fase, dicho aumento fue motivado especialmente por el alza del precio de los fertilizantes en el mercado mundial; y c) -De 1990 a 1992: El comportamiento de los precios continúa su tendencia creciente en forma acelerada. Los precios de 1980 comparados con 1992, según tipo de fertilizante 16-20-0, 15-15-15, 20-20-0, Sulfato de Amonio y 46-0-0, manifestaron incrementos en el orden de 370%, 438%, 427%, 256% y 350% respectivamente.

Cuadro 11. Precio promedio anual de fertilizantes, 1980-1990, Guatemala (expresado en qq de 46 kg).

Años	16-20-0	15-15-15	20-20-0	Sulf. Amonio	46-0-0
1980	13.02	14.45	14.50	9.78	15.21
1981	13.19	14.02	14.79	10.09	15.30
1982	12.61	13.57	13.11	8.91	13.29
1983	12.26	13.16	12.53	8.13	12.85
1984	13.86	13.34	13.15	7.46	13.97
1985	14.54	15.19	15.14	10.24	15.80
1986	21.94	21.92	22.62	12.71	19.03
1987	21.07	21.45	22.67	12.45	16.63
1988	24.93	25.28	26.22	14.88	23.70
1989	25.49	26.04	27.55	14.65	24.02
1990	35.63	49.98	53.33	27.00	57.43
1991	48.18	51.25	52.43	24.50	51.25
1992	48.20	63.38	61.92	25.03	53.30
%	370%	438%	427%	256%	350%

Ventas al por mayor

En Guatemala, existen empresas que básicamente tratan de comercializar los fertilizantes al por mayor. Estas son por lo general empresas nacionales que cuentan con agencias ubicadas en mercados estratégicos en toda la república, en donde las transacciones de compra-venta se realizan en gran escala. Las empresas comerciales que realizan este tipo de venta, sustentan sus decisiones especialmente en: Facilidades de transporte y que existan condiciones favorables de comunicación con las salidas al por menor. Los mayoristas en el país, se caracterizan por poseer eficiencia en el negocio de los fertilizantes, ofrecen al minorista el asesoramiento técnico necesario y efectúan para ellos algunas promociones de ventas.

La efectividad en la promoción de ventas de las empresas guatemaltecas, en cuanto al uso de

fertilizantes por parte de los agricultores radica especialmente en el énfasis que éstas han puesto en la creación de una Red Descentralizada de Proveedores, que abastecen flexiblemente a los minoristas en la época cuando la demanda alcanza su punto más alto.

Ventas al por menor

La estructura y magnitud de las empresas Guatemaltecas de fertilizantes que comercializan al por menor éstos insumos, guarda estrecha relación con el régimen de su clientela. Generalmente la clientela, está formada por una demanda ampliamente distribuida para volúmenes relativamente pequeños de fertilizantes, además de algunos compradores de unidades de producción agrícolas grandes.

En el país el mercado de fertilizantes a nivel de minoristas, es generalmente parte de un negocio en donde se involucran a otros insumos agrícolas, como insecticidas, herbicidas, semillas, fungicidas, etc., los cuales se manipulan junto con otros artículos de demanda popular en áreas rurales.

En el sistema de ventas al por menor en Guatemala, se distinguen los siguientes tipos de salida: a) Minoristas que venden exclusivamente fertilizantes; b) Minoristas cuyo producto principal son los fertilizantes; c) Minoristas para los cuales los fertilizantes representan una proporción significativa en las ventas; y d) Minoristas que manipulan los fertilizantes como una actividad colateral.

Consumo Aparente de Fertilizante

Dada la poca disponibilidad de información estadística desagregada por diversos tipos de fertilizantes, las estimaciones de consumo aparente que se presentan en el Cuadro 12, se sustentan en el concepto fertilizante en términos generales. Los datos presentados reflejan una tendencia decreciente significativa en el consumo aparente de fertilizantes en el mercado Guatemalteco, y como resultado una disminución en los volúmenes importados, una de las fundamentales causas fundamentales de esta disminución fue el alza de precios en el mercado mundial en los años 1986-87. El comportamiento que se observa muestra por lo tanto, una baja en los volúmenes demandados de fertilizantes en esos años por parte de los consumidores potenciales (agricultores).

Cuadro 12. Consumo aparente de fertilizante, Guatemala.

AÑOS	Consumo Aparente (En Millones de Tm)
1980	3.0
1981	6.5
1982	7.3
1983	7.0
1984	8.7
1985	7.7
1986	0.3
1987	0.4

Fuente: Instituto Nacional de Estadística -INE

CONCLUSIONES

La oferta de fertilizantes en el mercado Guatemalteco en el período analizado, presenta una tendencia decreciente, especialmente por la baja en los niveles de producción nacional, caso contrario con las importaciones, las que manifestaron un incremento de aproximadamente un 80% de 1980 a 1987. Los fertilizantes nitrogenados se constituyeron en los de mayor significancia.

Los volúmenes (Tm) de fertilizantes exportados durante el período 1980-87, manifestaron al inicio una tendencia creciente, luego una estabilización relativa y finalmente una caída considerable. Al respecto es importante señalar que de los fertilizantes exportados, los nitrogenados se caracterizaron por ser los más representativos, con un comportamiento uniforme, su destino principal fue el mercado de México

Al analizar el precio de los cinco fertilizantes de mayor demanda en el mercado nacional, se observó una tendencia a incrementarse en forma acelerada en el valor de los mismos, no acorde a los índices de inflación que se reportan para los años 1985 a 1992. Dicho comportamiento alcista, presenta efectos negativos en el desarrollo agrícola del país, toda vez que la demanda de fertilizantes tiende a disminuir, especialmente en los pequeños y medianos agricultores

La comercialización de fertilizantes y dentro de éstas básicamente el precio, constituye una de las barreras más difíciles de sortear por parte de los consumidores potenciales, toda vez que dichos insumos en un 80% son importados de otros mercados especialmente Estados Unidos y Alemania; esto contribuye a que constantemente se manifiesten incrementos en el valor de la producción. El Gobierno de Guatemala ha puesto en ejecución un

Programa de Distribución de Fertilizantes que permita al demandante, estabilidad en los precios, reducción en los costos de producción del agricultor, eficientizar la producción e incremento en la productividad de la tierra.

La estructura de ventas en el mercado de fertilizantes básicamente es al por mayor, las empresas que aquí se localizan poseen ventajas comparativas como son las economías externas (bodegas, transportes, técnicos especializados en mercadeo, redes descentralizadas de proveedores, etc.). Este tipo de empresas sustentan su filosofía en crear todas las condiciones (especialmente de precios) que les permite absorber a los minoristas).

REFERENCIAS

Dirección General de Bosque y Vida Silvestre -DIGEBOS. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. -CATIE- y ROCAP. Boletín de Precios Insumos, Herramientas, Productos Agroforestales Sector Agroforestal. No 6 Dic. 1991

FAO. Estrategias en Materia de Fertilizantes. Colección: Fomento de Tierras y Agua. No 10 Roma 1989.

FAO. Mercadeo de los Fertilizantes. Colección: Desarrollo Económico y Social. Guías de Mercadeo. No 7 Roma 1978

Instituto Nacional de Estadística -INE- Anuarios de Comercio Exterior. 1988 - 90 Guatemala.

Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. -ICAITI-. Informe sobre el mercado de fertilizantes en centroamerica. Guatemala, agosto 1967 pp.310

Ministerio de Agricultura/ Servicio Cooperativo Interamericano de Agricultura. Investigación sobre el consumo de fertilizantes en la República de Guatemala. Guatemala, 1969

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Reglamento sobre registro, comercialización, uso y control de plaguicidas agrícolas y sustancias afines. Acuerdo Gubernativo No 377-90. Guatemala 1990.

Secretaria de Integración Económica Centroamericana -SIECA-. Anuarios de Comercio Exterior. Guatemala, 1980 - 87.

Secretaria de Integración Económica Centroamericana -SIECA-. Estadísticas Macroeconómicas de Centroamerica 1985-1989.

Situación del Achaparramiento en el Cultivo de Maíz en Azuero, Panamá 1992-93

R.Gordón¹, I. Camargo², N. de Gracia², A. González², D. Pérez², A. Alvarado³ y J. Franco²

RESUMEN

Durante la presente época de siembra del maíz (agosto a diciembre de 1992) se presentó en varias parcelas de productores una enfermedad en el cultivo. La misma resultó ser la enfermedad conocida como achaparramiento del maíz, causada por espiroplasmas y micoplasmas, y transmitida por el *Dalbulus maydis*. Se realizó un muestreo a 67 parcelas en siete áreas de la región (San José, Pocrí, Candelaria, Las Tablas, Guararé, Los Santos y Parita). También se realizó un muestreo a todas las "Pruebas Regionales de Maíz" que ejecuta el IDIAP en la Región. Para el análisis se dividió las siembras en cuatro épocas 1 al 15 de agosto (primera) 16 al 31 de agosto (segunda) 1 al 15 de septiembre (tercera) 16 al 30 de septiembre (cuarta). Los resultados del muestreo indicaron que en todas las áreas de la Región está presente la enfermedad, pero no con la misma intensidad. Se encontró que el ataque es mayor en la parte sur de la Península. En la localidad de San José se presenta el mayor daño (74.35%), mientras que en Parita al momento de realizar el muestreo casi no se observa el daño (0.47% de plantas enfermas). La época de siembra parece ser el factor que más influyó en este problema. La primera época fue la más afectada (75.36%) y el porcentaje de plantas enfermas fue disminuyendo a medida que las siembras se realizaron más tarde 36.84% (segunda), 11.66% (tercera) y 6.06% (cuarta). Todos los híbridos sembrados en la región son afectados por la enfermedad. Los híbridos nacionales P-8812 y P-8916 presentaron los valores más altos con 38.79 y 60.40% de plantas enfermas, mientras que para el X-304 C (13.68%) y el H-203 (4.17%) los porcentajes son bajos. El efecto de época de siembra y la localidad influyó en el análisis de los cultivares, ya que los híbridos nacionales por estar a disposición de los productores, se sembraron más en la primera época. Los resultados encontrados en la Prueba Regional coinciden con los datos de la encuesta tanto en la época de siembra, como en la intensidad de la enfermedad en las distintas localidades. Se observó un grupo de cultivares que presentaron una mayor susceptibilidad a la enfermedad (E-12416, XL-604, X-3098, X-3086, E-216 B y Alanje). Mientras otro grupo fue menos susceptible (X-304 C, X-3078, ICTA 9122 y H-203).

Durante la presente época de siembra del maíz (agosto a diciembre de 1992) se presentó en varias parcelas de productores un problema en el cultivo. En un principio éste se presentó más en los híbridos nacionales (P-8812 y P-8916) y con menor intensidad en los cultivares importados. Preocupados por esta situación los técnicos del Sector Público Agropecuario

(IDIAP, MIDA, BDA, ISA, CNS) realizaron una serie de giras por los campos afectados para identificar cuál era el problema y sus posibles causas. Después de observar detenidamente la sintomatología observada en las plantas se llegó a la conclusión de que la misma es una enfermedad causada por micoplasmas y/o espiroplasmas denominada achaparramiento del maíz.

El 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 3 agentes casuales: a) *Spiroplasma kunkelii* (o raza Río Grande, corn stunt spiroplasma CSS), que causa bandas cloróticas comenzando de la base de las hojas y la proliferación de mazorcas; b) micoplasmas (maize bushy stunt micoplasm MBSM) que producen el típico síntoma de enrojecimiento de las hojas; y c) el virus del rayado fino, que causa típicas bandas cloróticas en las hojas (Nault and Bradfute, 1979).

Este complejo del achaparramiento es transmitida por el insecto *Dalbulus maydis* (Homoptera: Cicadellidae), reportada en Estados Unidos, Centro América, el Caribe y Sur América. 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. El huevo eclosiona en 5 días y el estado ninfal dura aproximadamente 15 días (con 5 estados ninfales) (Nault and Bradfute, 1979). 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 y Jorgensen (1988) encontraron que las poblaciones de *Dalbulus* se incrementaron a partir de septiembre, mientras que las más bajas se dieron en los meses de julio a agosto.

¹Coordinador Nacional de Maíz, IDIAP, Azuero. ²Investigadores de Maíz, IDIAP, Azuero. ³Sub-Director, IDIAP, Panamá.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó un muestreo a 68 parcelas de maíz en siete localidades del área de Azuero. El muestreo consistió en contar al azar el número de plantas sanas y plantas con el síntoma de la enfermedad. Estas últimas incluían tanto las plantas que solo presentaban el síntoma sin afectarles el rendimiento, como las plantas que el rendimiento se vería afectado por la enfermedad. El número de muestreos realizados en cada parcela dependió del tamaño de la misma, cuando el tamaño de la parcela era mayor de 10 ha se realizaron cinco muestreos, en aquellas en que el área fue menor, se realizaron tres muestreos. Cada muestreo consistió en dos surcos continuos de 10 m de largo. En la encuesta se tomaron los datos del nombre del productor, ubicación de la parcela, tipo de cultivar sembrado, fecha de siembra, historia de la parcela (cultivo anterior y cultivos colindantes), tipo de labranza, cantidad de abono completo y urea aplicada, si realizó control de insectos y distancia entre surcos. Las localidades en que se realizó dicho muestreo fue en San José, Pocrí, Candelaria, Las Tablas, Guararé, Los Santos y Parita.

Para el análisis se dividió las fechas de siembras en cuatro épocas: primera (del 1 al 15 de agosto); segunda (del 16 al 31 de agosto); tercera (del 1 al 15 de septiembre); y cuarta (del 16 al 30 de septiembre).

El Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) realiza año tras año una prueba en varias localidades donde se evalúan todos los cultivares de maíz que produce la institución así como los cultivares más promisorios de las casas comerciales. En el presente año (1992) se sembraron siete ensayos en la región de Azuero y uno en Río Hato con 20 cultivares en un diseño de bloques al azar en 4 repeticiones (Cuadro 6). Cada unidad experimental consta de dos surcos de 5.0 m de largo, separados a 0.75 m entre hileras y 0.50 m entre golpe (dos plantas/golpe). Estas pruebas fueron evaluadas por técnicos del Programa de Maíz de IDIAP para su reacción al achaparramiento. Cada parcela se calificó contando el número de plantas sanas (libres de la enfermedad) y con síntomas tanto en planta y mazorca con rendimiento reducido. Estos valores se transformaron respectivamente en % de plantas sanas, con síntoma y con daño. Para el análisis estadístico se utilizó la transformación de la raíz cuadrada más 0.5 del porcentaje de las plantas con el síntomas y plantas con daños.

RESULTADOS Y DISCUSION

Resultado de la Encuesta

El resultado de todas las encuestas se analizó para determinar el efecto de cultivares, localidad, época, labranza e insecticidas, pero por razones de espacio estos datos no se muestran. En el Cuadro 1 se analiza el efecto de la Localidad, este indica que en todas las áreas de Azuero está presente la enfermedad, pero no con la misma intensidad. El ataque es mayor en la parte sur de la Península (San José, Pocrí, Candelaria), con el mayor daño en San José (74.5%) mientras que en Parita al momento de realizar el muestreo casi no se observa el daño (0.47% de plantas enfermas).

La época de siembra parece ser el factor que más influyó en este problema. La primera época fue la más afectada (75.36%) y el porcentaje de plantas enfermas fue disminuyendo a medida que las siembras se realizaron más tarde 36.84% (2nda), 11.66% (3era) y 6.06% (4ta). Este efecto de época fue el mismo para todos los híbridos. Para el P-8916 se observa como el % de plantas con síntoma va disminuyendo de 75.4 a 61.4 a 25.5% en 1^a, 2^a y 3^a época, respectivamente. Lo mismo ocurre con el X-304 C (20.2, 8.2 y 11.4%) y el H-203 (10.2, 3.3 y 0.7%) en 2^a, 3^a y 4^a época, respectivamente (Cuadro 2).

En el Cuadro 3 se analiza el efecto de los cultivares, éste indica que todos los híbridos sembrados en la región son afectados por el achaparramiento. Los híbridos nacionales P-8812 y P-8916 fueron los más afectados con 38.8 y 60.4% de plantas enfermas, mientras que el X-304C (13.7%) y el H-203 (4.2%) mostraron pocos síntomas. Se debe señalar que el efecto de época de siembra y la localidad influyen en la interpretación de los datos, ya que, el promedio por híbrido incluye el efecto de ambos. Por ejemplo el P-8916 es el único híbrido que tiene datos de la 1^a época (dos valores) y no tiene datos de la 4^a, entonces su promedio es alto, ya que, la primera época es la más afectada y la cuarta la menos dañada. Además, observaremos que en San José, Candelaria y Las Tablas los valores de la 1^a, 2^a y 3^a época son altos, mientras que en Parita el porcentaje de plantas enfermas fue cero en la 2^a época (Cuadro 4). El híbrido P-8812, a pesar de estar muy afectado en campo, el muestreo indicó que estaba menos afectado que el P-8916. Esto se debe a que, a pesar de ser sembrado en la 1^a época, en el muestreo no se incluyó ninguna parcela de este período y sí 8 y 4 campos de la 2^a y 3^a época, respectivamente.

Cuadro 1. Efecto de la localidad en el muestreo a 68 campos comerciales de maíz en la región de Azuero, 1992-1993.

Localidad	% Daño	% Síntomas	% Enfermas	% Sanas	n
San José	32.61	41.75	74.35	25.65	12
Candelaria	30.35	13.21	45.36	56.44	5
Pocri	25.34	8.83	34.17	65.83	6
Las Tablas	19.59	9.74	29.33	70.67	8
Los Santos	11.81	11.57	23.38	76.62	14
Guararé	4.23	4.55	8.77	91.23	9
Parita	0.18	0.29	0.47	99.53	14

Cuadro 2. Efecto de la época por cultivar en el muestreo a 68 campos comerciales de maíz en la región de Azuero, 1992-1993.

Cultivar	8-15 a 9-1		9-1 a 9-15			9-15 a 10-1			10-1 a 10-15			
	% daño	n	% daño	n	% enf	% daño	n	% enf	% daño	n	% enf	
P-8812	s.d.	-	s.d.	35.48	8	57.12	0.92	4	2.14	s.d.	-	s.d.
P-8916	38.48	2	75.36	28.41	5	61.40	5.49	1	25.49	s.d.	-	s.d.
X-304 C	s.d.	-	s.d.	9.63	14	20.20	4.65	15	8.20	6.78	4	11.44
X-3098	s.d.	-	s.d.	s.d.	-	s.d.	5.58	1	20.17	s.d.	-	s.d.
H-203	s.d.	-	s.d.	2.81	2	10.18	2.33	6	3.34	0.23	2	0.68
H-101	s.d.	-	s.d.	25.49	1	35.29	s.d.	-	s.d.	s.d.	-	s.d.
XL-604	s.d.	-	s.d.	s.d.	2	s.d.	5.80	3	10.62	s.d.	-	s.d.
Promedio n total	38.48	2	75.36	20.36	30	36.84	11.66	30	11.66	3.50	6	6.06

Cuadro 3. Efecto del Cultivar en el muestreo a 68 campos comerciales de maíz en la región de Azuero, 1992 - 1993

Cultivar	% Daño	% Síntomas	% Enfermas	% Sanas	n
P-8812	23.96	14.83	38.79	61.21	12
P-8916	28.06	32.34	60.40	39.60	8
X-304 C	7.02	6.66	13.68	86.32	33
X-3098	5.58	14.59	20.17	79.83	1
H-203	2.06	2.11	4.17	95.83	10
H-101	25.49	9.80	35.29	64.71	1
XL-604	5.80	4.82	10.62	89.38	3

Cuadro 4. Efecto de la interacción localidad x época x cultivar en el muestreo a 68 campos comerciales de maíz en la región de Azuero, 1992-1993.

Cultivar	1-15/8	n	16-31/8	n	1-15/9	n	16-30/9	n
San José								
P-8812	s.d.	-	100.00	1	s.d.	-	s.d.	-
P-8916	100.00	1	87.22	2	s.d.	-	s.d.	-
X-304C	s.d.	-	63.66	2	26.84	3	14.95	3
PROM.	100.00	1	83.63	5	26.84	3	14.95	3
Pocri								
P-8812	s.d.	-	63.47	1	s.d.	-	s.d.	-
X-304 C	s.d.	-	10.31	1	1.84	2	0.92	1
H-101	s.d.	-	35.29	1	s.d.	-	s.d.	-
PROM.	s.d.	-	36.36	3	1.84	2	0.92	1
Candelaria								
P-8812	s.d.	-	10.00	2	s.d.	-	s.d.	-
P-8916	s.d.	-	100.00	1	25.49	-	s.d.	-
X-304 C	s.d.	-	s.d.	-	6.62	1	s.d.	-
XL-604	s.d.	-	s.d.	-	4.90	1	s.d.	-
PROM.	s.d.	-	100.00	3	12.33	2	s.d.	-
LTablas								
P-8812	s.d.	-	36.21	2	s.d.	-	s.d.	-
P-8916	50.72	1	32.55	1	s.d.	-	s.d.	-
X-304 C	s.d.	-	12.09	2	8.20	2	s.d.	-
PROM.	50.72	1	26.95	5	8.20	2	s.d.	-
Guararé								
P-8812	s.d.	-	33.20	2	3.49	2	s.d.	-
X-304 C	s.d.	-	0.00	1	0.00	1	s.d.	-
H-203	s.d.	-	s.d.	-	7.30	2	s.d.	-
XL-604	s.d.	-	s.d.	-	9.46	1	s.d.	-
PROM.	s.d.	-	16.60	3	5.06	6	s.d.	-
LSantos								
P-8812	s.d.	-	54.66	1	s.d.	-	s.d.	-
X-304 C	s.d.	-	24.05	5	4.91	3	s.d.	-
H-203	s.d.	-	20.35	1	1.45	1	1.35	1
X-3098	s.d.	-	s.d.	-	20.17	1	s.d.	-
XL-604	s.d.	-	s.d.	-	17.50	1	s.d.	-
PROM.	s.d.	-	33.02	7	11.01	6	1.35	1
Parita								
P-8812	s.d.	-	s.d.	-	0.80	2	s.d.	-
P-8916	s.d.	-	0.00	1	s.d.	-	s.d.	-
X-304 C	s.d.	-	0.25	3	0.35	3	s.d.	-
H-203	s.d.	-	0.00	1	1.33	3	0.00	1
PROM.	s.d.	-	0.08	5	0.83	8	0.00	1

Si analizamos el caso del X-304 C', al no estar disponible su semilla para la primera época de siembra, la mayoría de sus datos provienen de la 2^a, 3^a y 4^a época y su promedio es de 13.68% (Cuadro 2 y 3), lo cual ha dado lugar, a que se interprete que es un cultivar más tolerante que los híbridos nacionales. Pero, debido a la interacción Época x Cultivar x Localidad, observaremos que en San José en donde la presión fue alta el porcentaje de plantas enfermas fue de 63.66, 26.84 y 14.95% para la 2^a, 3^a y 4^a época, respectivamente, lo cual lo calificaría como un cultivar susceptible. En cambio si observamos en Las Tablas el daño es de 12.09 y 8.20% para la 2^a y 3^a época, respectivamente, lo cual lo calificaría como tolerante. Es más en Guararé, no se observó síntomas de la enfermedad en este cultivar, lo cual lo calificaría como resistente (Cuadro 4).

En el caso del híbrido H-203 se observa que su promedio es bajo (4.17%), lo que haría pensar que es tolerante. Pero hay que señalar que este cultivar no fue sembrado en ninguna de las localidades de mayor incidencia (San José, Pocrí, Candelaria y Las Tablas). En cambio en la única localidad en donde el porcentaje de plantas enfermas fue considerable y el mismo fue sembrado (Los Santos, 23.38%), el porcentaje de afectación del mismo fue de 20.35% (Cuadro 4).

Los otros híbridos considerados en el muestreo (X-3098, H-101 y XL-604) no se discuten debido a la poca cantidad de muestra de los mismos (uno, uno y tres muestras, respectivamente).

Otra de las variables analizadas lo fue el tipo de labranza, pero en ella no se observó ninguna tendencia, ya que, los promedios fueron bastante iguales con 22.60% en el caso de la labranza convencional y 22.06% en la labranza mínima. En las parcelas en donde se realizó la aplicación de insectidas al momento de la siembra o el tratarlas con algún insecticida (p.e. Counter, Furadán y Promet), presentaron un porcentaje mayor de incidencia de la enfermedad 39.33% en comparación con aquellas en donde no se aplicó nada (Cuadro 5). Este resultado parece contrario a lo esperado, pero las áreas en donde más se utilizó esta práctica (13/19) fueron en Pocrí, Candelaria y Las Tablas. Además tenemos que estos insecticidas protegen a la planta entre los 15 a 20 días después de la siembra y de acuerdo a los daños observados, el ataque del insecto en estas áreas fue más tarde.

Cuadro 5. Efecto de la labranza y la aplicación de insecticidaa en el muestreo a 68 campos comerciales de maíz en la región de Azuero, 1992 - 1993

Labranza Insecticida	% Daño	% Sinto mas	% Enfer mas	% Sanas	n
Convencional	11.7	10.9	22.6	77.4	54
Mínima	12.9	9.2	22.1	77.9	14
Con Insecticida	24.1	15.2	39.3	60.7	19
Sin Insecticida	7.2	8.8	16.0	84.0	49

Evaluación de la Prueba Regional de Maíz

En el Cuadro 6 se observa el % de plantas con síntomas para los 20 cultivares y las 8 localidades. La intensidad del síntoma varió entre las localidades y se observaron diferencias significativas entre ellas. San José y Las Cocobolas (Las Tablas) fueron las de mayor incidencia con 17.72 y 15.96% de plantas enfermas, mientras que en La Honda y los Gurullos de Parita fue donde se encontró los porcentajes más bajos. Estos datos coinciden con el muestreo de las parcelas comerciales del trabajo anterior. Cabe señalar que todos estos experimentos fueron sembrados entre el 9 al 18 de septiembre. El porcentaje general del síntoma de las 8 localidades fue de 8.39%. Este coincide con el encontrado con el promedio de la 3^a y 4^a época de siembra del muestreo a las 68 parcelas. Se observó un grupo de cultivares que presentaron una mayor susceptibilidad a la enfermedad (E-2416, XL-604, X-3098, X 3086, E-216 B y Alanje). Mientras otro grupo fue menos susceptible, entre los que podemos mencionar el X-304 C, X-3078, ICTA 9122 y H-203. El resto de los cultivares están entre valores intermedios. El análisis estadístico realizado a cada localidad mostró diferencias significativas utilizando como estadístico la Prueba de Tukey's. Se encontró diferencias en las localidades de Cocobola, San José, París y Río Hato (Cuadro 7).

El hecho de que todos los ensayos fueron sembrados en una época donde la intensidad del daño fue relativamente bajo (menor de 20%), puede causar confusión en la interpretación de los datos. Ya que, de acuerdo a comentarios realizados por el Ing. Roger Urbina de Nicaragua (Urbina, 1993, comunicación personal), cuando se realizan selecciones en este tipo de ambiente, algunos cultivares presentan una tolerancia aparente, la cual se pierde cuando son evaluados a lugares con estréses mayores, es decir en donde la enfermedad es endémica.

Cuadro 7. Evaluación del síntoma causado por el achaparramiento en las pruebas regionales de maíz

Cultivar	La Honda	Cocobola	Tres Qdas	San José *	Gurullos	Paris *	Pedral	Río Hato	Prom 8 Loc.	Los Santos	Herre-ra	Alta Presión	Baja Presión
E 2416	6.41(4)	18.57(9)		22.65(7)			10.86(2)	7.35(9)	13.17	15.88	10.86	20.61	8.21
XL 604	1.25(17)	19.73(6)	5.13(13)	24.32(6)	6.71(4)	27.89(1)	6.28(6)	12.41(1)	12.97	12.61	13.63	23.98	6.36
X 3098	3.79(8)	22.91(1)	6.58(5)	28.16(1)	6.41(5)	15.77(3)	7.00(4)	10.13(3)	12.59	15.36	9.73	22.28	6.78
X 3086	6.04(3)	19.69(3)	6.37(8)	24.85(4)	6.09(7)	17.54(2)	3.34(12)	7.34(10)	11.41	14.24	8.99	20.69	5.84
E 216 B	4.90(6)	21.69(2)	7.03(7)	26.39(3)	7.56(2)	6.87(12)	2.41(16)	8.02(5)	10.61	15.00	5.61	18.32	5.98
Alanje	10.83(1)	15.43(12)	7.95(1)	15.98(11)	10.36(1)	6.82(13)	3.67(11)	12.00(2)	10.38	12.55	6.95	12.74	8.96
E 616 B	4.40(7)	19.38(7)	6.12(9)	15.63(12)	7.81(3)	10.77(9)	6.00(7)	7.97(7)	9.76	11.38	8.19	15.26	6.46
P 8812	7.98(2)	14.27(14)	3.40(16)	26.93(2)	1.83(14)	11.86(6)	3.04(15)	8.17(4)	9.69	13.15	5.58	17.69	4.88
P 9006	5.50(5)	19.04(5)	6.24(6)	12.07(16)	5.27(8)	6.68(14)	13.93(1)	6.55(12)	9.41	10.71	8.63	12.60	7.50
E 232	1.15(15)	16.29(11)	7.24(3)	19.10(8)	3.49(10)	11.58(7)	1.67(18)	7.41(8)	8.49	10.95	5.58	15.66	4.19
E 6416			5.38(11)		6.53(6)	11.87(5)			7.93	5.38	9.20	11.87	5.96
P 8814	1.39(16)	19.36(4)	2.43(19)	24.57(5)	0.64(18)	7.74(10)	6.61(5)	0.62(19)	7.92	11.94	5.00	17.22	2.34
Guararé	2.41(12)	13.01(15)	2.86(18)	16.95(9)	4.91(9)	5.73(15)	7.38(3)	5.75(14)	7.38	8.81	6.01	11.90	4.66
P 8916 B	1.79(13)	14.19(13)	4.44(12)	16.33(10)	1.69(13)	6.95(11)	4.66(9)	8.01(6)	7.26	9.19	4.43	12.49	4.12
P 8916	0.71(19)	18.02(10)	6.63(4)	13.94(14)	2.34(12)	10.85(8)	2.06(17)	2.84(16)	7.17	9.83	5.08	14.27	2.92
OCB0 60	1.78(14)	11.39(16)	1.95(20)	12.17(15)	2.40(11)	12.73(4)	5.44(8)	6.36(13)	6.78	6.82	6.86	12.10	3.59
E 632	2.83(9)	18.27(8)	7.52(2)	11.58(17)	1.11(17)	4.60(18)	3.80(10)	2.27(17)	6.50	10.05	3.17	11.48	3.51
H 203	0.61(20)	11.18(17)	3.30(14)	14.93(13)	1.78(15)	5.03(17)	3.21(14)	6.89(11)	5.87	7.51	3.34	10.38	3.16
ICTA 9122	5.57(11)	11.38(18)	5.03(10)	9.62(18)	1.27(16)	5.22(16)	1.57(19)	4.07(15)	5.47	7.90	2.69	8.74	3.50
X 3078	2.62(10)	9.57(19)	2.92(17)	9.57(19)	0.00(20)	3.92(19)	3.33(13)	0.48(20)	4.05	6.17	2.42	7.69	1.87
X 304 C	0.74(18)	5.78(20)	3.24(15)	8.67(20)	0.57(19)	2.18(20)	3.04(15)	1.85(18)	3.26	4.61	1.93	5.54	1.89
Prom Loc	3.485	15.957	5.091	17.721	3.938	9.628	4.950	6.325	8.39	10.56	6.17	13.89	4.76
Fecha de siembra	9/9	11/9	14/9	11/9	18/9	10/9	10/9	15/9					

Son las tres localidades consideradas para obtener el promedio de Alta Presión de la enfermedad.

Cuadro 8. Evaluación del síntoma causado por el achaparramiento en las pruebas regionales de maíz y la transformación de la Raíz Cuadrada más 0.5 (Estadístico de Tukey's).

Cultivar	La Honda		Cocobola		Tres Qbas		San José		Gurullos		París		Federnal		Río Hato	
	% Sintom	Transf	% Sintom	Transf	% Sintom	Transf	% Sintom	Transf	% Sintom	Transf	% Sintom	Transf	% Sintom	Transf	% Sintom	Transf
E 2416	6.41	2.380	18.57	4.296			22.65	4.768	6.71	2.545	27.89	5.151	10.86	3.328	7.35	2.796
XL 604	1.25	1.113	19.73	4.392	5.13	2.134	24.32	4.882	6.41	2.566	15.77	3.851	6.28	2.526	12.41	3.482
X 3098	3.79	1.944	22.91	4.736	6.58	2.617	28.16	5.300	6.41	2.566	15.77	3.851	7.00	2.543	10.13	2.935
X 3086	6.04	2.478	19.69	4.464	6.37	2.503	24.85	4.905	6.09	2.298	17.54	3.875	3.34	1.693	7.34	2.695
E 216 B	4.90	2.077	21.69	4.652	7.03	2.575	26.39	5.037	7.56	2.817	6.87	2.668	2.41	1.473	8.02	2.822
Alanje	10.83	3.213	15.43	3.970	7.95	2.796	15.98	3.996	10.36	3.256	6.82	2.631	3.67	1.863	12.00	3.094
E 616 B	4.40	2.030	19.38	4.351	6.12	2.383	15.63	3.944	7.81	2.767	10.77	2.953	6.00	2.504	7.97	2.769
P 8812	7.98	2.676	14.27	3.656	3.40	1.787	26.93	5.225	1.83	1.362	11.86	3.368	3.04	1.630	8.17	2.882
P 9006	5.50	2.369	19.04	4.409	6.24	2.578	12.07	3.530	5.27	2.232	6.68	2.591	13.93	3.741	6.55	2.354
E 232	1.15	1.191	16.29	4.083	7.24	2.776	19.10	4.223	3.49	1.851	11.58	3.400	1.67	1.199	7.41	2.745
E 6416					5.38	2.251			6.53	2.419	11.87	3.490				
P 8814	1.39	1.145	19.36	4.411	2.43	1.477	24.57	4.797	0.64	0.968	7.74	2.613	6.61	2.437	0.62	0.963
Guarané	2.41	1.507	13.01	3.535	2.86	1.596	16.95	4.069	4.91	2.230	5.73	2.431	7.38	2.495	5.75	2.457
P 8916 B	1.79	1.45	14.19	3.764	4.44	2.190	16.33	4.076	1.69	1.422	6.95	2.493	4.66	2.055	8.01	2.681
P 8916	0.71	0.988	18.02	4.265	6.63	2.654	13.94	3.702	2.34	1.594	10.85	3.298	2.06	1.425	2.84	1.685
OC B0 60	1.78	1.221	11.39	3.412	1.95	1.397	12.17	3.530	2.40	1.607	12.73	3.433	5.44	2.205	6.36	2.561
E 632	2.83	1.590	18.27	4.315	7.52	2.822	11.58	3.442	1.11	1.086	4.60	2.116	3.80	1.945	2.27	1.446
H 203	0.61	0.989	11.18	3.344	3.30	1.930	14.93	3.816	1.78	1.651	5.03	2.343	3.21	1.662	6.89	2.559
ICTA 9122	5.57	1.513	11.38	3.320	5.03	2.282	9.62	2.842	1.27	1.225	5.22	2.206	1.57	1.303	4.07	1.951
X 3078	2.62	1.522	9.57	3.019	2.92	1.734	9.57	3.145	0.00	0.707	3.92	1.923	3.33	1.825	0.48	0.919
X 304 C	0.74	0.944	5.78	2.322	3.24	1.914	8.67	3.000	0.57	0.946	2.18	1.547	3.04	1.631	1.85	1.373
Prom Loc	3.49		15.95		5.09		17.72		3.94		9.63		4.95		6.32	
DMS (Tukey)	n.s.	2.27	**	2.30	n.s.	1.94	**	2.42	n.s.	2.09	**	2.68	n.s	2.58	**	2.56

CONCLUSIONES

1. En todas la áreas de la región de Azuero está presente la enfermedad, pero no con la misma intensidad. Se encontró que el ataque es mayor en la parte sur de la Península.

2. La época de siembra es el factor que más influyó en la presencia de la enfermedad. La primera época fue la más afectada (75.4%) y el porcentaje de plantas enfermas fue disminuyendo a medida que las siembras se realizaron más tarde 36.8% (segunda), 11.7% (tercera) y 6.1% (cuarta).

3. Todos los híbridos sembrados en la región son afectados por la enfermedad. Los híbridos nacionales P-8812 y P-8916 presentaron los valores más altos con 38.8 y 60.4% de plantas enfermas, mientras que el X-304 C (13.7%) y el H-203 (4.2%) presentaron los porcentajes más bajos.

4. Los resultados encontrados en la Prueba Regional coinciden con los datos de la encuesta tanto en la época de siembra, como en la intensidad de la enfermedad en las distintas localidades.

REFERENCIAS

Nault, L. R. and O.E. Bradfute. 1979. Corn stunt: involvement of a complex of leafhopper borne pathogens. pp. 561-586 In: K. Maramorosch and K.F. Harris (eds), Leafhopper Vectors and Plant Disease Agents, Academic Press, New York.

Sveinhaug, T. and M. Jorgensen. 1988. Corn stunt and maize bushy stunt disease: population levels of the vector *Dalbulus maidis* and incidence of the disease in six maize varieties at four locations in Nicaragua. Ph.D. Thesis. Norwegian Agricultural University, 90 pp.

Urbina, R. 1993. Comunicación personal.





ASPECTOS METODOLOGICOS

La Fenología del Maíz¹

Jorge Bolaños² y Gregory O. Edmeades³

RESUMEN

Para cualquier cultivo, el entendimiento de los eventos fenológicos es importante porque establece el marco temporal donde se forma el rendimiento y sus componentes. El maíz es una planta anual y determinada con los eventos cardinales de la germinación, la iniciación floral, la floración y la madurez fisiológica. La duración de cada una de estas fases depende del genotipo, el fotoperíodo y la temperatura. Fotoperíodos en exceso de un valor crítico retardan el progreso a la floración. Dentro de cada fotoperíodo, el avance a cada evento fenológico es una acumulación lineal de tiempo termal (TT), calculado como la suma acumulativa a través del tiempo de los °C por encima y/o por debajo de niveles base (Tbase) y óptimo (Topt), respectivamente (°Cd). Temperaturas por encima de Topt se reducen la tasa de progreso hasta llegar a un nivel crítico (Tcrt) donde el progreso es 0. En maíz tropical, Tbase es de 8 a 10 °C, Topt de 30 a 34 °C, y Tcrt de 40 a 44 °C. La germinación toma de 50 a 150 °Cd, la iniciación y aparición de hojas sucesivas 25 y 40 °Cd, respectivamente, la iniciación floral masculina de 300 a 400 °Cd, la iniciación del jilote superior de 400 a 500 °Cd y la floración de 500 a 700 °Cd para maíces precoces y de 900 a 1100 °Cd para los tardíos. Después de 4-5 días en una fase de arresto, el jilote produce cerca de 50 óvulos por día por 12-14 días para producir de 500 a 600 óvulos por mazorca. Unos 4-5 días antes de la floración, los óvulos entran en una fase de rápido crecimiento que culmina con la emisión de los estigmas para la fertilización. Si el jilote no logra alcanzar un peso mínimo de 1 g/pl se retrasa la emisión de los estigmas reduciendo el rendimiento 10% por cada día de retraso. Después de la floración y la fertilización de los estigmas, la planta entra a la fase de llenado de grano. Después de 10-12 días de arresto, el grano pasa a una fase lineal de crecimiento de peso, con tasas de hasta 6 a 7 mg/día de llenado. La humedad del grano es un excelente indicador del desarrollo fenológico del grano durante esta fase. La madurez fisiológica se alcanza cuando se forma una capa negra indicando la abscisión del grano y su máximo peso seco. Las fases fenológicas se discuten en luz de la elaboración del rendimiento del maíz.

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de mayor variabilidad genética y adaptabilidad ambiental, sembrándose en latitudes desde 55 °N a 40 °S y del nivel del mar hasta 3800 m de altitud. Existen cultivares de menos de 1 m de altura, 8-9 hojas y una madurez de 60 días, y otros con más de 5

m de altura, 40-42 hojas y una madurez de 340 días (Fischer y Palmer, 1984). Mesoamérica es considerada su centro de origen, donde se cultiva desde las épocas pre-colombinas. Hay más de 250 razas clasificadas y el Banco de Germoplasma de CIMMYT cuenta con más de 10 mil entradas.

Descripción Botánica

El maíz es una monocotiledona perteneciente a la familia Gramínea, Tribu Maydae, con dos genera: *Zea* (2n=20) y *Tripsacum* (2n=36). El género *Zea* tiene además de *Z. mays* (maíz) 4 otras especies conocidas vulgarmente como teosinte (*Z. mexicana*, *Z. luxurians*, *Z. diploperennis* y *Z. perennis*) (Fischer and Palmer, 1984). Es una gramínea anual, robusta, de 1-4 m de altura, determinada; normalmente con un solo tallo dominante pero puede producir hijos fértiles; hojas alternas en ambos lados del tallo, pubescentes en parte superior y glabras en parte inferior; monoica con flores masculinas en espiga superior y flores femeninas en jilotes laterales; protándrica con la floración masculina ocurriendo normalmente 1-2 días antes que la femenina; polinización libre y cruzada con exceso de producción de polen: 25 a 30 mil granos por óvulo; granos en hileras encrustados en el olote; mazorca en su totalidad cubierta por hojas; grano cariopsis; metabolismo fotosintético C₄ (Kiesselbach, 1949; Purseglove, 1972; Fischer and Palmer, 1984).

El Grano de Maíz

El grano de maíz es una fruta completa (cariopsis) con una semilla. La semilla, que consiste fundamentalmente en el embrión y el endosperma, se encuentra incrustada en el pericarpio, que es parte del ovario. En promedio, el pericarpio ocupa 5.5%, el endosperma 82%, el embrión 11.5%, y el pedicel solamente 1% del total, respectivamente. El grano contiene alrededor de 1.5-1.6% de N, 0.3% de P, 0.35% de K, 0.03% de Ca, 0.12% de S, 0.17% de Mg, correspondiente con 75% de carbohidratos, 10% de proteína, 5% de lípidos y 10% de agua (Kiesselbach, 1949; Pursegolve, 1972; Arnon, 1974). En términos de los costos de biosíntesis, la planta produce 0.78 g de grano de maíz con 1 g de glucosa (valor de producción) (Fischer and Palmer, 1984).

¹Este documento está basado en el documento de capacitación 'La Fenología y Fisiología de Maíz' por J. Bolaños, material usado para fines exclusivos de capacitación en cursos de CIMMYT y/o PRM.

²Agrónomo Regional para Centro América y el Caribe, CIMMYT, Guatemala. ³Líder en Fisiología-Agronomía de Maíz, CIMMYT, México.

La aleurona es la capa exterior del endosperma y contiene las enzimas y metabolitos para iniciar la germinación. El endosperma (3n) consiste de células llenas de almidón que sirven como fuente alimenticia durante la germinación. El embrión (2n) contiene un eje central terminando en ambos extremos con el plúmulo y la radícula como los meristemos primarios del tallo y de la raíz. Aún dentro del embrión, el plúmulo contiene ya 5-6 internodos con hojas formadas. La primera hoja (escutelo) nunca funciona como follaje pero lo hace como reserva de aceite (35-40%). La segunda hoja (coleóptilo) protege al plúmulo durante la germinación. La elongación rápida del primer internodo (escutelo-coleóptilo) es responsable por la emergencia durante la germinación (Kiesselbach, 1949).

LA FENOLOGIA DEL MAIZ Y LA ELABORACION DEL RENDIMIENTO

Para cualquier cultivo, el entendimiento de los eventos fenológicos es importante porque establece el marco temporal donde se forma el rendimiento y sus componentes. El maíz es una planta anual y determinada, con los puntos cardinales de la germinación, la iniciación floral, la floración y la madurez fisiológica; delineando respectivamente las fases vegetativa, reproductiva y de llenado de grano. La duración de cada una de estas fases depende del genotipo, del fotoperíodo y de la temperatura (Fischer

and Palmer, 1984; Edmeades et al., 1992a). Es importante entender como a lo largo del ciclo del cultivo se elaboran sucesiva y sincrónicamente los diferentes componentes de rendimiento (Bolaños y Barreto, 1991). Los Cuadros 2 y 3 al final del trabajo resumen los aspectos fisiológicos y agronómicos más importantes de los estadios fenológicos del maíz (Ritchie and Hanway, 1984; Edmeades et al., 1992a).

La Figura 1 presenta una esquematización del desarrollo fenológico de la población Tuxpeño en un ambiente tropical representativo de Centro América, con una temperatura promedio de 23 a 25 °C. En este clima, la población Tuxpeño cesa la iniciación de hojas y el meristemo apical se convierte en la inflorescencia masculina (espiga) a los 28 días después de siembra (dds). Aquí pasa de la fase vegetativa a la fase reproductiva. La inflorescencia femenina superior (jilote) se forma a los 38 dds, aproximadamente 10-11 días después de la iniciación de la espiga. La antesis y la emisión de los estigmas ocurre cerca de los 55-60 dds y la madurez fisiológica a los 110-115 dds. Este cultivar produce 22 hojas, más de 600 óvulos por mazorca a la floración, pero sólo se cosechan 450 granos con un peso de 400 mg por grano. La variedad necesita 350 °Cd (grados C x día, unidades de tiempo termal) para la iniciación de la espiga, 950 °Cd para la floración y 1650 °Cd a la madurez fisiológica (Fischer and Palmer, 1984; Bolaños and Edmeades, 1993a,b; Edmeades et al., 1992a, 1993).

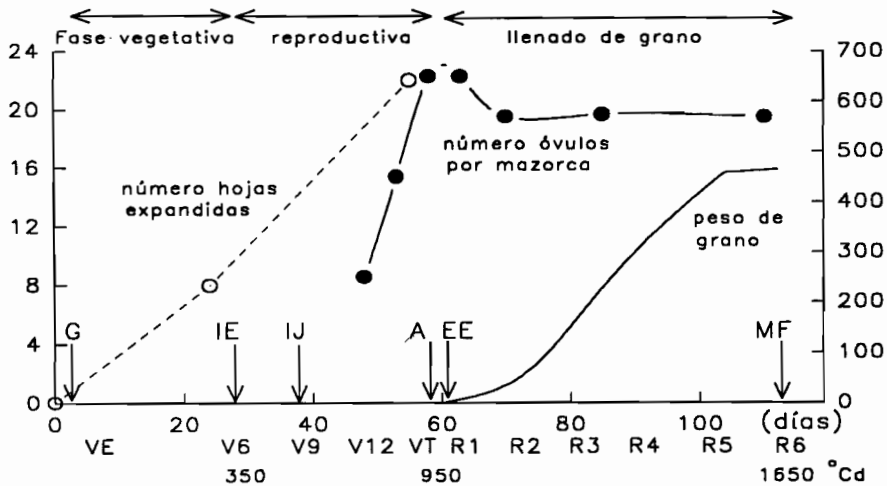


Figura 1. Descripción esquemática de la fenología del maíz tropical (115 d a madurez fisiológica a 23-25 °C). G, IE, IJ, A, EE y MF se refieren a germinación, iniciación de la espiga, iniciación del jilote superior, antesis, emisión de los estigmas y madurez fisiológica, respectivamente. VE, V6,...R1-R6, se refieren a los estadios fenológicos de Ritchie y Hanway (1984) y °Cd al tiempo termal para IE, A y MF. La gráfica está basada en Fischer y Palmer (1984).

En la fase vegetativa la semilla germina y se establecen las plántulas, se expande el follaje y se forma la capacidad fotosintética del cultivo, la cual controla la producción de biomasa. La biomasa total producida por el cultivo normalmente está altamente correlacionada con el tamaño final de la mazorca ya que ésta ocupa cerca del 40% del peso total (Bolaños y Barreto, 1991). La fase reproductiva determina la formación de la mazorca y por tanto el número de mazorcas por planta (MZ/PL) y el número de granos por mazorca (NG/MZ), o sea, la fracción cosechable de la biomasa. La fase del llenado de grano comienza después de la polinización y determina el peso final del grano y de la mazorca. El peso de grano está correlacionado con la duración y la cantidad de radiación interceptada durante esta fase, y es afectada por estreses hídricos y nutricionales (Fischer and Palmer, 1984).

REPUESTA A FOTOPERIODO

El maíz es una planta determinada cuantitativa de días cortos (Fischer and Palmer, 1984; Edmeades et al., 1992a). Esto significa que el progreso hacia la floración se retrasa progresivamente a medida que el fotoperíodo excede un valor crítico mínimo. La Figura 2 esquematiza la respuesta a fotoperíodo para una variedad sensitiva de maíz. Para la población Tuxpeño el fotoperíodo crítico es de 13.5 h (Fischer and Palmer, 1984), y para la mayoría del germoplasma de maíz es entre 11 y 14 h (Edmeades et al., 1992a).

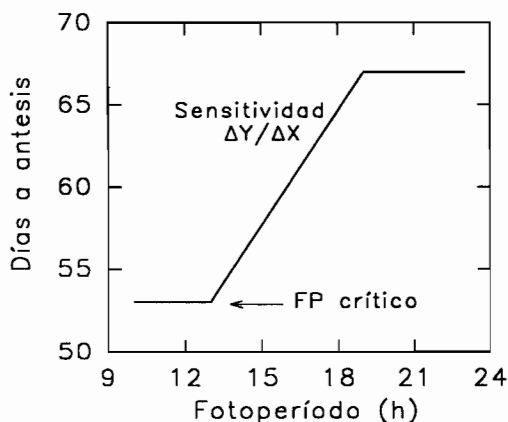


Figura 2. Respuesta esquematizada de la floración (días a antesis) al fotoperíodo en maíz. La gráfica presenta una variedad sensitiva al fotoperíodo. El fotoperíodo crítico está representado por FP crítico, y la sensibilidad a fotoperíodo como la pendiente de la curva. Gráfica tomada de Edmeades et al., 1992a.

El fotoperíodo es efectivo en retardar la iniciación floral solamente durante el periodo inductivo, estimado como 4 días antes que la iniciación de la espiga (IE) (Edmeades et al., 1992a). En el trópico (comprendido entre 0-30° latitud), el fotoperíodo varía de un mínimo y máximo de 11.6 y 14.4 horas a través del año (Gates, 1980). En estos ambientes tropicales el efecto del fotoperíodo en la fenología del maíz no es muy importante.

Existe amplia diversidad en la sensibilidad a fotoperíodo, esta puede variar desde insensitivo (no hay retraso con fotoperíodos largos) hasta muy sensitivos (hay un retraso de 2 a 3 días a la iniciación de la espiga por cada hora extra de fotoperíodo en exceso del valor crítico) (Edmeades et al., 1992a,b).

Los materiales templados tienen poca sensibilidad a fotoperíodo. Para maíces tropicales, la sensibilidad a fotoperíodo sigue el siguiente orden de mayor a menor sensibilidad: maíz tropical > maíz subtropical > maíz de altura > maíz templado (Edmeades et al., 1992b). La mayoría de los materiales tropicales tienen mucha sensibilidad al fotoperíodo. Edmeades et al. (1992b) encontraron por cada hora adicional de fotoperíodo de 2 a 10 días (equivalente a 29-149 °Cd) de retraso en la iniciación de la espiga, de 1.5 a 3.6 hojas adicionales, y de 3 a 13 días (equivalente a 42-218 °Cd) de retraso en la floración masculina en 48 cultivares de maíz evaluados, concluyéndose que la respuesta a fotoperíodo en retardar la iniciación de la espiga, los días a floración y aumentar el número de hojas están altamente correlacionados. Debido a las dificultades en medir la iniciación floral (disecciones), estos datos sugieren que se puede evaluar la respuesta a fotoperíodo midiendo solamente los días a antesis o el número final de hojas (Edmeades et al., 1992a,b).

TIEMPO TERMAL Y FENOLOGIA

Dentro de cada fotoperíodo, el avance a cada evento fenológico es una función lineal de la acumulación de unidades de calor (UC) o tiempo termal (TT). Un concepto importante en la fenología es distinguir entre el tiempo requerido para la ocurrencia del evento (ej., 60 días a la floración) y la velocidad de progreso fenológico, o sea, la velocidad con la que organismo se acerca a la ocurrencia del evento. Esta velocidad del progreso fenológico está relacionada con el inverso del tiempo (1/tiempo) (Roberts and Summerfield, 1987; Edmeades et al., 1992a,b).

La tasa de progreso fenológico depende de temperaturas cardinales específicas para cada cultivo. La Figura 3 esquematiza la dependencia del progreso fenológico sobre la temperatura para maíz tropical y maíz de altura. En la temperatura considerada base (Tbase) hay un completo arresto metabólico y la tasa de progreso fenológica es 0 (el tiempo para que ocurra el evento es infinito). En la temperatura óptima (Topt) el desarrollo fenológico es máximo, y tiene un valor relativo de 1. En la temperatura crítica (Tcrt) la tasa de progreso decrece nuevamente a 0 por efectos negativos del excesivo calor. Las temperaturas cardinales de los eventos fenológicos se calculan usando datos experimentales y haciendo una gráfica entre el inverso del tiempo (1/días a iniciación de la espiga, o 1/días a floración) versus la temperatura promedio usada en el ensayo. Los interceptos con 1/t=0 producen Tbase y Tcrt, respectivamente (Roberts and Summerfield, 1987; Edmeades et al., 1992a,b).

El rango de las temperaturas cardinales reportadas en maíz a través de muchos experimentos es: de 6 a 10 °C para Tbase, de 30 a 34 °C para Topt y de 40 a 44 °C para Tcrt (Edmeades et al., 1992a). El modelo CERES de simulación del crecimiento del maíz usa respectivamente 8, 34 y 44 °C para Tbase, Topt y Tcrt (Jones y Kiniry, 1986). En contraste, el maíz de altura parece tener Tbase de 7 °C, Topt de 21 a 25 °C, y Tcrt de 35 °C (CIMMYT, sin publicar).

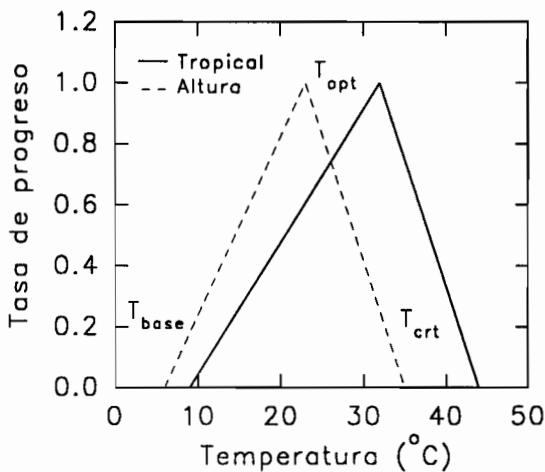


Figura 3. Temperaturas cardinales para maíz tropical y maíz de altura. Basado en Edmeades et al., 1992b.

El tiempo termal (TT) se calcula como la suma acumulativa de los grados °C diariamente por arriba de Tbase y por debajo de Topt y tiene unidades de °C

(temperatura) x día (tiempo) (°Cd). Si la temperatura excede Topt, entonces se le resta el excedente al TT para el calculo. El TT se calcula de la siguiente forma:

$$TT = \sum (T_{avg} - T_{base}) \text{ cuando } T_{opt} > T_{avg} > T_{base}$$

$$TT = \sum (T_{avg} - T_{opt}) - T_{base} \text{ cuando } T_{opt} < T_{avg} < T_{crt}$$

Tavg normalmente es el promedio entre Tmax y Tmin calculado diariamente. El Cuadro 1 presenta un ejemplo de el calculo de TT (grados C x día) para unos datos arbitrarios de Tavg.

Cuadro 1. Ejemplo para calcular el tiempo termal (TT) diario y acumulativo con datos de temperatura promedio (Tavg) usando temperaturas cardinales de Tbase=10, Topt=30 y Tcrt=45.

Día	Tavg	Accum diaria	Accum total
1	15	5	5
2	18	8	13
3	20	10	23
4	25	15	38
5	27	17	55
6	30	20	75
7	31	19	94
8	32	18	112
9	29	19	131
...

El tiempo termal (TT) para distintos eventos fenológicos del maíz ha sido evaluado en muchos cultivares bajo distintos ambientes, pero aún existen muy pocos datos sobre maíces tropicales (Edmeades et al., 1992a). Materiales precoces requieren menos TT para alcanzar los eventos fenológicos (iniciación floral, floración, madurez fisiológica) que materiales más tardíos. Edmeades et al. (1992a) resumieron los TT para distintos eventos fenológicos (sin efecto de fotoperíodo). La germinación y emergencia toma de 50 a 150 °Cd; la iniciación de cada hoja sucesiva ocurre de 21 a 24 °Cd; la aparición de la punta visible de la hoja (desde el cogollo) toma de 36 a 44 °Cd; y la floración toma de 500 a 700 °Cd para maíces precoces, de 700 a 900 °Cd para intermedios, y de 900 a 1100 °Cd para tardíos. La duración del llenado de grano puede tomar de 500 a 1100 °Cd (Derieux et al., 1983; Edmeades et al., 1992b; Ellis et al., 1992; Chapman and Edmeades, 1992). En estudios con maíces tropicales de CIMMYT de amplio uso en la región de Centro America, Chapman (1993) reporta tiempos termales de la siembra a la floración

femenina de 1000 a 1100 °Cd para las poblaciones consideradas precoces (Pob. 30, 31 y 49) y de 1200 a 1300 °Cd para poblaciones consideradas intermedias o tardías (Pob. 21, 22, 27, 28, 36 y 43).

Mientras más frío es el ambiente, tomará mayor tiempo alcanzar el mismo TT. Por ejemplo, una variedad que requiera 900 °Cd para llegar a la floración tomará 45 días en un ambiente de 30 °C (acumulando 20 °C por día necesita 45 días para acumular las 900 °Cd), pero en un ambiente de 20 °C, esta variedad necesitará 90 días para llegar a la floración (acumulando 10 °C por día necesita 90 días para acumular las 900 °Cd).

La dependencia de la fenología sobre la temperatura implica claramente que en los trópicos el rendimiento está limitado por el poco tiempo para interceptar radiación dictado por las temperaturas cálidas que aceleran la fenología del cultivo. Hay poca unidad de luz por tiempo termal (Fischer y Palmer, 1984). Por ejemplo, un cultivar de maíz que necesite 1500 °Cd para la madurez, tomará 150 días a la cosecha en un ambiente de 20 °C, pero sólo 75 días en uno de 30 °C. Esto significa que el cultivo en un ambiente cálido tendrá disponible menor radiación debido a la mayor velocidad de desarrollo fenológico. En algunas situaciones, la temperatura aumenta a fines del ciclo, acelerando la fase de llenado de grano y la senescencia de hojas, limitando severamente el rendimiento. La alta productividad del maíz en climas frescos se explica por el lento desarrollo fenológico y la capacidad de interceptar radiación por mayor tiempo.

INICIACION, EXPANSION, AREA Y SENESCENCIA DEL FOLLAJE

Iniciación y Expansión de las Hojas

El número de hojas (NH) se pueden contar después de la floración al final (NHF o NH Final), o cuando tienen la punta visible mirando desde arriba (NHV o NH Visibles), o cuando ya están totalmente expandidas con el collar visible (NHM o NH Maduras). Existe una relación entre NHV y NHM, aunque después de la floración ambos son iguales al número final NFH. Hay una estrecha relación entre el número de hojas totalmente expandidas (NHM) (con el collar visible, base del método de Hanway y Ritchie, 1984) y el tiempo termal (Muchow and Carberry, 1989; Chapman y Edmeades, 1992). El intervalo en días para la iniciación de hojas sucesivas

se ha definido como el plastocrón. En promedio, se necesitan 25 °Cd para iniciar cada hoja sucesiva en maíz (Edmeades et al., 1992a). En un ambiente de temperatura promedio de 25 °C (15 unidades de calor por día), cada hoja sucesiva se inicia cada 1.7 días.

La semilla trae 5-6 hojas iniciadas antes de la germinación. Entonces, si el número final de hojas de cierto genotipo de maíz es 22 (NHF=22), entonces, se puede calcular los días a iniciación de la espiga. La planta deberá iniciar 17 hojas (22-5) y cada una toma 1.7 días, por lo que la iniciación de la espiga ocurrirá ($17 \times 1.7 = 28$) a los 28 dds. O sea, un cultivar con 22 hojas totales a una temperatura promedio de 25 °C tomará 28 días para iniciar la espiga y pasar a la fase reproductiva. Genotipos tardíos inician un número mayor de hojas que precoces y fotoperíodos largos al retardar la iniciación de la espiga producen un mayor número de hojas.

El phylocrón se ha definido como el intervalo para la aparición de hojas visibles, o sea, desde la iniciación hasta la aparición de la punta visible (NHV). En promedio esto toma 40 °Cd por hoja, y a una temperatura promedio de 25 °C esto significa que la aparición de la hoja ocurre cada 2.7 días (Edmeades et al., 1992a).

Desarrollo y Duración del Area Foliar

El área foliar de cada hoja sucesiva crece hasta alcanzar un máximo y luego decrece, semejante a una parábola (Wolfe et al., 1988; Muchow and Carberry, 1989; Chapman y Edmeades, 1992). Estrés ambientales reducen el área de cada hoja y el área total por planta, pero no afectan la forma de parábola del área de cada hoja en la planta (Wolfe et al., 1988). En base a la relación entre el número de la hoja, el número final de hojas, y el área máxima, se han desarrollado relaciones empíricas de regresión para calcular el número de la hoja más grande, el área de cualquier hoja (número n), y el área de la hoja más grande (Muchow and Carberry, 1989; Chapman and Edmeades, 1992). Típicamente la hoja de la mazorca es muy cercana a la hoja más grande. El área foliar de hojas verdes por planta (m^2 follaje por planta) multiplicado por la densidad de siembra (plantas por m^2 de suelo) produce el índice foliar (*leaf area index*) (solamente se usa el área foliar de un lado de las hojas en el cálculo del índice foliar).

La fracción del área foliar muerta (no-verde) o de senescencia se incrementa con la acumulación de TT, pero especialmente después de la floración. El estrés

aumenta drásticamente la senescencia de las hojas (Wolfe et al., 1988). La duración del área foliar depende del genotipo y del fotoperíodo, la temperatura y las condiciones del cultivo. Existe una relación muy fuerte entre la productividad y la duración del área verde, obvio porque las plantas producen materia seca a través de la fotosíntesis y la captura de radiación por las hojas verdes. El incremento en la duración del área verde ha sido una de las avenidas más importantes en la mejoría del germoplasma a través del mejoramiento (Fischer y Palmer, 1984).

LA FASE REPRODUCTIVA

En la fase reproductiva se elaboran el órgano de interés desde el punto de vista de la cosecha: la mazorca y/o los granos. El maíz es único dentro de los cereales debido a su inflorescencia ya que es una planta monoica: produce las flores masculinas y femeninas en distintos órganos de la misma planta. Las flores masculinas se encuentran en la inflorescencia terminal (espiga) y las flores femeninas en las axilas laterales (jilotes). Esto significa que hay tanto una separación espacial (el polen tiene que viajar más de 1 metro de distancia para fecundar los estigmas) y temporal (1-2 días entre la antesis y la emisión de los estigmas) en la floración. Esta separación tanto espacial como temporal entre la floración masculina y femenina hace que la fertilización y la producción de granos sea una fase extremadamente sensitiva en el maíz a los estreses ambientales (Bolaños y Barreto, 1991; Bolaños y Edmeades, 1993a,b).

Iniciación de los Organos Florales

Según el fotoperíodo y temperatura, el meristemo terminal deja de iniciar hojas y se convierte en un inicial floral masculino. Para Tuxpeño, la iniciación de la espiga (IE) ocurre a los 28 dds en un ambiente tropical de 25 °C. La primera indicación es la elongación del domo meristemático y cuando excede 1 mm de largo la espiga se considera iniciada (Siemer et al., 1969). La espiga crece exponencialmente hasta la antesis, cuando alcanza su peso máximo. Este puede llegar a ser el 10% de la materia seca total de la planta a la floración (Bolaños and Edmeades, 1992b). Se estima que cada espiga puede producir más de 20 millones de granos de polen (más de 30 mil por cada estigma a fertilizar) (Kiesselbach, 1949; Fischer and Palmer, 1984).

Cerca a los 38 dds, el Tuxpeño comienza a desarrollar meristemas laterales en las axilas de las hojas en sucesión basipetal (de abajo hacia arriba). Estos se convierten en iniciales de la flor femenina (jilote) en sucesión acropetal (de arriba hacia abajo). Generalmente se inician meristemas en todas las hojas excepto las últimas 6 a 8 hojas debajo de la espiga. Casi todos estos serán abortados durante el desarrollo, quedando solamente los 1-2 superiores. Los meristemas laterales en hojas inferiores pueden desarrollarse en hijos fértiles o infértiles. La producción de florcillas cesa en los jilotes inferiores primero que en los superiores, por lo que normalmente el jilote superior tiene la mayor cantidad de florcillas.

Después de su iniciación, el jilote pasa por 3 fases de desarrollo. La Figura 4(a,b) muestra datos de Tuxpeño Sequía C₀ y C₈: a) una fase inicial de arresto de 4-5 días después de la iniciación del jilote, b) una fase lineal de rápida de producción de florcillas o óvulos (cerca de 50 florcillas por día) que dura entre 12-14 días para producir un total de 600-700 óvulos por jilote, y c) una fase de crecimiento de los óvulos-estigmas, después que ha terminado la fase de producción de florcillas (Edmeades et al., 1993).

La tasa de crecimiento del jilote es casi nula hasta los 20 días después de la iniciación, coincidente con la fase de iniciación de óvulos. Las florcillas femeninas (óvulos) solamente comienzan a acumular peso seco rápidamente hasta después de finalizada la fase lineal de producción de florcillas potenciales (fase b), durante la fase de crecimiento (fase c) (Figura 4b). En el desarrollo del jilote, el número de hileras se forma inmediatamente, pero no el número de granos por hilera, que depende de la duración de la fase de producción lineal de óvulos (fase b). Normalmente existe una buena correlación entre el número final de óvulos y la duración del desarrollo del jilote (Derieux et al., 1985).

La Floración y el Intervalo entre la Antesis y la Emisión de los Estigmas (IEAEE)

La floración en maíz se reconoce por el derramamiento de polen de las anteras de la espiga (antesis) y la emisión de los estigmas del jilote. La antesis normalmente ocurre 1-2 días antes que la emisión de los estigmas, pero con estrés la emisión de los estigmas se retrasa.

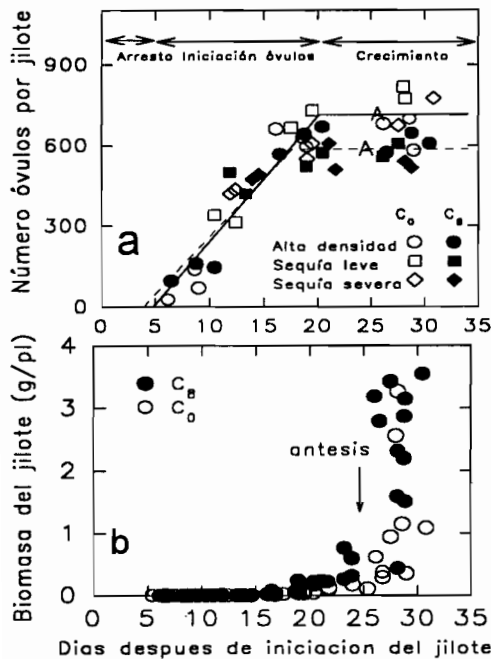


Figura 4. Dinámica del (a) número de óvulos y (b) el peso seco del jilote en función del tiempo después de la iniciación del jilote para Tuxpeño Sequía C₀ y C₈ promediados a través de tratamientos de estrés. Gráfica tomada de Edmeades et al., 1993.

En base a los datos obtenidos con Tuxpeño, Bolaños y Edmeades (1993b) han propuesto que si el jilote no logra alcanzar un peso seco de 1 g por planta (cerca de 0.8 mg por florquilla por jilote) para la antesis, la viabilidad de la mazorca y el número de granos se ve altamente reducida. El número de plantas sin mazorca y el intervalo entre la antesis y la emisión de estigmas (IEAEE) aumenta drásticamente cuando el peso seco del jilote es inferior a 1 g/pl. Si hay estrés o competencia durante esta fase, la acumulación de materia seca por el jilote en desarrollo se ve reducida. Bolaños y Edmeades (1993b) han desarrollado la teoría que por cada día que se retrasa la emisión de los estigmas en referencia a la antesis, el rendimiento se reduce en aproximadamente 10% por día, reduciendo el número de granos por planta, el número de mazorcas y el índice de cosecha.

FASE DE LLENADO DE GRANO

Después de la fertilización, el grano entra a la fase del llenado en tres fases: a) fase de arresto (lag phase) que puede durar de 12-20 d, b) fase lineal de acumulación de materia seca con tiempo, y c) fase de

acumulación lenta terminando en la capa negra y madurez fisiológica. Tuxpeño necesita 700 °Cd desde la fertilización hasta la madurez fisiológica, usando solamente 460 °Cd para la fase lineal del llenado (Fischer y Palmer, 1984). O sea, solamente el 27% del tiempo termal del Tuxpeño se usa para llenar el grano. La tasa promedio de acumulación de peso por el grano (pendiente de fase lineal) es cerca de 6.5 mg por óvulo por día. La fase final puede ser de 7-14 días (Fischer y Palmer, 1984). En esta fase, la humedad de grano es un excelente indicador del estadio fenológico (Brooking, 1990). La madurez fisiológica se alcanza cuando el grano se acerca a los 35-32% de humedad (Ritchie y Hanway, 1984; Brooking, 1990).

CONCLUSIONES

Los Cuadros 2 y 3 presentan un resumen de los eventos fenológicos más importantes del maíz, los eventos fisiológicos asociados y el manejo agronómico relevante en ese estadio de desarrollo. En resumen:

1. El maíz es una planta cuantitativa de días cortos, fotoperíodos largos retardando el progreso de los eventos fenológicos en germoplasma sensitivo. Dentro de cada fotoperíodo, el avance de los eventos fenológicos depende de la acumulación de tiempo termal. Para maíz, las temperaturas cardinales son: Tbase=8 a 10, Topt=30 a 32, Tcrt=40 a 45 °C.
2. El maíz es único en los cereales por poseer una separación temporal y espacial en la flor masculina y femenina. Esto provee una base fisiológica para explicar la sensibilidad del rendimiento a los estreses ambientales durante el desarrollo floral. Después de la iniciación del jilote, este pasa por tres fases de desarrollo. El número de óvulos se determina en esta fase. Si el jilote no alcanza un peso crítico de 1 g/pl, la emisión de los estigmas se retrasa, y el rendimiento se reduce en aproximadamente 10% por cada día de retraso.
3. La fase de llenado de grano determina el peso final del grano. La tasa diaria de acumulación puede alcanzar 5-6 mg por grano. El potencial de rendimiento depende en parte de las duraciones fenológicas de las distintas fases de desarrollo de la planta de maíz. Estas bases fenológicas proveen el marco temporal para la elaboración del rendimiento y sus componentes.

Cuadro 5. Eventos cardinales en la fenología del maíz, rango en tiempo termal para su ocurrencia, y comentarios críticos. Basado en Edmeades et al., 1992a.

Evento	Tiempo Termal (°Cd)	Comentarios
Siembra		Inicio de la germinación. Requiere humedad y temperatura adecuada.
Emergencia	50-150	Emergencia del coleóptilo arriba de la superficie del suelo.
Iniciación de hojas	20-24	Semilla trae 5-6 hojas iniciadas. Plastocrón es el intervalo de iniciación de hojas sucesivas. Transición de estado fotoinsensible a uno fotosensible (inductivo), ocurre 4 días antes que IE.
Iniciación de la espiga	300-400	Ocurre cuando la iniciación de hojas ha terminado y marca el comienzo de la fase reproductiva. Se retrasa si el fotoperíodo en fase inductiva excede el valor crítico. Ocorre aproximadamente al 40% del tiempo entre emergencia y emisión de los estigmas.
Iniciación de los jilotes	400-500	Meristemos laterales se inician en sucesión acropetal y se convierten en jilotes en sucesión basipetal en las axilas de las hojas excepto las 6-8 hojas superiores. Meristemos inferiores pueden convertirse en hijos.
Emergencia de hojas	34-44	Después de la iniciación, las hojas crecen hasta que la punta se encuentra visible, y luego hasta que está totalmente expandida: los aurículos y la ligula (el collar) se encuentran visibles.
Emergencia de la espiga		La aparición de la espiga. Ocorre 40 a 80 °Cd después de la expansión de la última hoja (hoja bandera).
Antesis	500-1100	Cuando las primeras anteras derramando polen se encuentran visibles.
Emisión de estigmas	500-1100	Cuando los primeros estigmas se encuentran visibles. Normalmente ocurre 1-2 días después de la antesis.
Fase lineal de llenado grano		12-20 días después de la polinización, el llenado de grano comienza la fase lineal de crecimiento. Grano puede acumular 6-7 mg/día durante fase lineal.
Grado de lechosidad del grano		Monitoreado con la desaparición de la línea lechosa. Durante esta fase el contenido de humedad del grano es un indicador del desarrollo fenológico.
Madurez fisiológica	1000-2000	Ocurre cuando cesa el aumento de peso de grano y coincide con la formación de una capa negra en la región placentar del grano, 1-2 d después de la desaparición de la línea lechosa, y con humedad cerca de 35-33%. La senescencia de las hojas de la mazorca sirven de indicadores visuales.

Cuadro 6. Descripción de los estadios de desarrollo fenológico del maíz según Ritchie y Hanway (1984).

Estadio	Descripción	Eventos fisiológicos	Manejo agronómico
VE	Coleóptilo emerge de la superficie del suelo	Meristemo apical debajo de la superficie del suelo. El crecimiento de las raíces seminales decrece y comienza el desarrollo de raíces nodales en nodos inferiores.	Preparación suelo para garantizar buena emergencia con humedad y temperatura adecuadas. Plántula muy sensible al microambiente. Absorción nutrientes ocurre sólo con raíces seminales.
V3	Visible el cuello de la hoja 3	Meristemo apical aún debajo de la superficie del suelo. El crecimiento de las raíces seminales cesa, y se acentúa el de raíces nodales. Se inician hojas cada 1.5 días (25 °Cd). Planta aún inductiva al fotoperíodo	Temperatura superficial crítica p/ plántula. Daño al follaje no afecta al meristemo apical ya que aún está bajo suelo. El buen establecimiento de las plántulas es vital p/ control malezas y obtención de la densidad deseada
V6	Visible el cuello de la hoja 6	Meristemo apical arriba de la superficie del suelo. Transición de la fase vegetativa a la fase reproductiva. Meristemo se convierte en flor masculina. Ya casi todas las hojas ya se encuentran iniciadas, pero aún no visibles. Tallo comienza fase de rápida elongación. Raíces nodales en nodos inferiores. Degeneración y pérdida de las 2 hojas inferiores	Termina fase inicial de lenta acumulación de biomasa. Comienza fase acelerada de crecimiento del cultivo con expansión del follaje, captura de radiación y absorción de nutrientes. Cultivo solo intercepta cerca del 40% de radiación disponible. Raíces nodales exploran volumen extenso de suelo. Aporque y fertilización adicional de N.
V9	Visible el cuello de la hoja 9	Flor masculina en rápido crecimiento. Iniciación en orden acropetal de meristemos laterales en axilas de hojas inferiores y conversión de meristemos laterales en jilotes en orden basipetal. Rápido crecimiento del cultivo, expansión del follaje y captura de un cada vez más alto porcentaje de la radiación disponible. Desarrollo de raíces nodales en nodos adicionales.	Tasa de crecimiento del cultivo aún mayor debido a mayor intercepción de radiación (60%). Expansión rápida del follaje y absorción de nutrientes. Iniciación de óvulos en jilotes (número por hilera). Aporque y fertilización adicional.
V12 a V15	Visible el cuello de las hojas 12 a 15	Jilotes en fase de iniciación de óvulos. Espiga en rápido crecimiento y en competencia por recursos con los jilotes. Follaje y cultivo en rápida expansión. Captura casi total de radiación disponible. Jilotes inferiores abortan.	El follaje captura casi toda la radiación y la acumulación de biomasa entra a la fase lineal. Estrés ambientales reducen el número de óvulos y mazorcas por planta. Potencial de rendimiento relacionado a la duración de fases fenológicas del jilote. Alta demanda de nutrientes y humedad por cultivo.
V18 a V22	Visible el cuello de las hojas 18 a 22	Espiga a punto de emergencia. Fase rápida de crecimiento de óvulos en jilotes iniciados. Expansión follaje casi cesa y la cobertura del suelo es casi completa. Raíces nodales crecen en nodos arriba de la superficie del suelo.	Fase de desarrollo del jilote muy sensible a estrés ambientales. Altos requerimientos de nutrientes y humedad. El estrés afecta más a la floración femenina, retardando la emisión de los estigmas y reduciendo el rendimiento.

Cuadro 6 (cont). Descripción de los estadios de desarrollo fenológico del maíz según Ritchie y Hanway (1984).

Estadio	Descripción	Eventos fisiológicos	Manejo agronómico
VT	Visible la última rama de la espiga, pero aún los estigmas no han emergido	Espiga totalmente expuesta. Derramamiento de polen por 1-2 semanas. Altura final y número final de hojas establecido.	El rendimiento es muy susceptible al estrés ambiental. Ovulos en estado rápido de crecimiento. Follaje intercepta 90% de la radiación. Tasa máxima de crecimiento del cultivo.
R1	Emisión de los estigmas	Estigmas emergen para ser polinizados. El grano de polen toma 24 h para fertilizar óvulo.	El número de óvulos fertilizados por jilote se determina. Estrés causa polinización pobre y bajo número de granos por planta. Absorción de K cesa después de R1.
R2	Etapa de ampolla. (10-12 d después de fertilización)	El endosperma está lleno de líquido claro y el grano parece una ampolla. Se puede observar el embrión. Este tiene los meristemas apicales y la primera hoja formada. Estigmas se oscurecen y degeneran. Comienza fase lineal de acumulación en grano.	El almidón comienza a acumularse en los granos. Redistribución del N y P hacia el grano ocurre de otras partes de la planta. Senescencia de hojas inferiores. Grano con 85% humedad.
R3	Etapa de leche. (18-22 d después de fertilización)	Líquido claro lechoso en endosperma. Concentración alta de azúcares. El embrión comienza a crecer rápidamente y termina la división celular. Estigmas muertos.	Comienza la fase lineal de llenado de grano con tasa cerca de 5-6 mg por día. Grano con 80% humedad.
R4	Etapa de masa. (24-28 d después de fertilización)	Grano se llena con sustancia blanca pastosa. Embrión tiene 4 hojas y ha crecido mucho de R3. Acumulación de almidón en endosperma. Almidón seco o endurecido se deposita de la corona hacia la base del grano formando la línea de leche. Desarrollo de la línea de leche indicador del estadio fenológico.	Remobilización de nutrientes de la planta hacia los granos. Senescencia rápida de las hojas. Número final de granos determinado. Grano con 70% humedad.
R5	Etapa de dentado. (35-42 d después de fertilización)	La parte superior del grano se llena con almidón seco.	Remobilización de nutrientes de la planta hacia los granos. Senescencia más rápida de las hojas. Grano con 50-60% humedad.
R6	Madurez fisiológica. (55-65 d después de fertilización)	Los granos alcanzan su peso máximo. La línea de almidón seco ha avanzado hasta la base formando la capa negra y esta es visible. La planta se auto-destruye.	Final del cultivo Grano con 30-35% humedad. Pérdida adicional de humedad depende de clima.

Nota: no todas las plantas de un campo llegan al mismo tiempo a un estado. Por esta razón, se dice que el cultivo ha llegado a la etapa Vn o Rn cuando al menos el 50% de las plantas están en esa etapa.

REFERENCIAS

- Aron, I. 1974. Mineral Nutrition of Maize. International Potash Institute, Bern.
- 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. and G.O. Edmeades. 1993a. 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.
- Bolaños, J. and G.O. Edmeades. 1993b. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II. Responses in reproductive behavior. *Field Crops Res.* 31:253-272.
- Brooking, I. 1990. Maize ear moisture during grain filling and its relation to physiological maturity and grain drying. *Field Crops Res.* 23:55-68.
- Chapman, S.C. 1993. Uso de modelos de simulación para examinar la variación fenológica del germoplasma de CIMMYT. II. Variación genética. pp. xxx-xyy en Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM 1992, vol. 4, CIMMYT, Guatemala.
- Chapman, S.C. and G.O. Edmeades. 1992. Leaf area development of diverse maize genotypes. Trabajo presentado en 84ava reunión anual de American Society of Agronomy. ASA Abstracts, p.123.
- Derieux, M., R. Bonhomme, J.B. Duburcq, F. Ruget and P. Vincourt. 1983. Influence du génotype et du lieu sur le nombre d'ovules presents a la floraison chez le mais. *Can J. Plant Sci.* 63:371-375.
- Edmeades, G.O., H.R. Lafitte and S.C. Chapman. 1992a. Predicting the phenology of tropical maize: effects of photoperiod and temperature. CIMMYT, México (Documento borrador).
- Edmeades, G.O., R.H. Ellis and H.R. Lafitte. 1992b. Photothermal responses of tropically-adapted maize. Trabajo presentado en 84ava reunión anual de American Society of Agronomy. ASA Abstracts, p.124.
- Edmeades, G.O., J. Bolaños, M. Hernández y S. Bello. 1993. Causes for silk delay in a lowland tropical maize population. *Crop Sci.* 33:1029-1035.
- Ellis, R.H., R.J. Summerfield, G.O. Edmeades and E.H. Roberts. 1992. Photoperiod, leaf number, and the interval from tassel initiation to emergence in diverse cultivars of maize. *Crop Sci.* 32:398-403.
- Fischer K.S. and A.F.E Palmer. 1984. Tropical maize. pp 213-248 In: PR Goldsworthy and NM Fischer (Eds) *The Physiology of Tropical Field Crops.* John Wiley and Sons, New York.
- Gates, D. 1980. *Biophysical Ecology,* Springer-Verlag, New York.
- Jones, C.A., and J.R. Kiniry. 1986. *CERES Maize: A simulation model of maize growth and development.* Texas A&M University Press, College Station, TX.
- Kieselbach, T.A. 1949. *The Structure and Reproduction of Corn.* Univ. of Nebraska Press, Lincoln.
- Muchow, R.C. and P.S. Carberry. 1989. Environmental control of phenology and leaf growth in tropically adapted maize. *Field Crops Res.* 20:221-236.
- Purseglove, J.W. 1972.. *Tropical Crops: Monocotyledons.* Longman, London.
- Ritchie, S.W. and J. Hanway. 1984. How a corn plant develops. Special Report No. 48, Iowa State University, Iowa.
- Roberts, E.H. and R.J. Summerfield. 1987. Measurement and prediction of flowering in annual crops. pp.17-50 in JG Alherton (Ed) *Manipulation of Flowering,* Butterworths, London.
- Siemer, E.G., E.R. Leng, and O.T. Denmead. 1969. Timing and correlation of major developmental events in maize (*Zea mays* L.). *Agron J.* 61:14-17.
- Wolfe, D.W., D.W. Henderson, T.C. Hsiao and A. Alvino. 1988. Interactive water and nitrogen effects on leaf senescence in maize. *Agron J.* 80:859-864.

Uso de Modelos de Simulación para Examinar la Variación Fenológica del Germoplasma de Maíz de CIMMYT.

I. Variación en Tiempo y Espacio

Scott C. Chapman¹

RESUMEN

En este trabajo se demuestra el uso de modelos de simulación en computador para determinar el potencial de adaptación de los genotipos de maíz en diferentes localidades de Centro América y México. Para todos los análisis presentados se utilizó un genotipo de 18 hojas cuya descripción es adecuada para un material subtropical de madurez intermedia o un material tropical de madurez precoz a intermedia. El modelo de simulación presentado en este trabajo ilustra la variabilidad en la fecha de antesis que puede resultar de la variación inter e intra anual en clima. Este análisis demuestra que los modelos de simulación pueden proveer una manera fácil y eficiente de examinar interrogantes a nivel fenológico.

Los fitomejoradores del programa de maíz del CIMMYT están muy familiarizados con la fecha aproximada de floración del germoplasma cuando este se cultiva en las estaciones experimentales de CIMMYT. Sin embargo, la variación climática año con año, probablemente ocasionan cambios mayores que lo que nos imaginamos. Los modelos de simulación de cultivos proporcionan un método simple para integrar información sobre el clima y a la vez permiten examinar la variabilidad por largos períodos, mediante el uso de información histórica del clima para una localidad dada. También es posible analizar los efectos de diferentes fechas de siembra y genotipos. De otra manera, esta información solo podría obtenerse sembrando los genotipos de interés en las fechas deseadas para cada temporada en que las estaciones han sido utilizadas.

Se incluye un ejemplo adicional para demostrar el uso de modelos de simulación y determinar el potencial de adaptación de los genotipos, pues a menudo tenemos una percepción razonablemente correcta de las características del germoplasma cuando ha sido cultivado en las estaciones del CIMMYT, pero no de como cambian las características fenológicas cuando un genotipo se cultiva en otra localidad. El

ejemplo que se presenta utiliza la fecha de antesis para determinar el potencial de adaptación de un genotipo a otras regiones.

MÉTODOS

Información Climática

Los registros climáticos para las estaciones de Poza Rica y Tlaltizapán se encuentran disponibles desde 1973. Para la simulación espacial de la fecha de antesis en el norte de América Latina (México hasta Panamá) usamos la base de datos desarrollada por Peter Jones en CIAT, Colombia. Esta base de datos consiste de información sobre temperatura y precipitación interpolada a largo plazo para cada estación meteorológica dentro de celdas de 10x10 minutos. De esta se extrajo una porción de 6542 celdas con información para América Latina (Corbett 1992). Para cada celda, la base de datos contiene los valores promedio mensuales de la temperatura máxima y mínima y el promedio de la precipitación mensual.

Descripción del Modelo

Un modelo de intervalo de tiempo diario para simular la fenología de maíz ha sido convertido a FORTRAN (Lahey F77L) del código BASIC del modelo de Muchow *et al.* (1990). El modelo hace una aproximación de las fechas de emergencia, antesis y madurez a partir de las entradas de temperatura máxima y mínima y el número de hojas del genotipo. En esta simulación se asume que el efecto de fotoperíodo es mínimo ya que el modelo no tiene en cuenta este efecto.

El modelo acumula tiempo térmico ($^{\circ}\text{Cd}$) para cada día usando un tipo de modelo de "broken-stick" con una temperatura base de 8°C . Cuando la temperatura diaria máxima excede los 34°C , el tiempo térmico acumulado (y por lo tanto la tasa de crecimiento) disminuye de acuerdo a la temperatura diaria. En análisis preliminares de la información

¹ Fisiólogo Programa de Maíz CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Apdo. Postal 6-641 CP 06600. México D.F. México.

recopilada para el germoplasma de CIMMYT, estas temperaturas son apropiadas para la mayoría de los materiales con excepción de los genotipos de valles altos. Mientras que en estos análisis se utilizaron temperaturas de 8°C a 34°C, pensamos que 7°C y 30°C pudiesen ser mas apropiadas.

La emergencia ocurre después de la acumulación de 87°Cd. La fecha de antesis depende de la entrada inicial del número de hojas. El número de hojas se calcula cada día de una relación exponencial contra el tiempo térmico. Por esta razón, en este modelo simple después de la aparición de 18 hojas ocurre la antesis. Después de la antesis se usa una temperatura base de 0°C y la madurez ocurre cuando se acumulan 1300°C_d después de la antesis. Este modelo no toma en cuenta el efecto de helada, fertilidad de suelo, suministro de agua o daño por insectos.

Modelo de Simulación para las Estaciones de CIMMYT

Para todos los análisis presentados se utilizó un genotipo de 18 hojas. Esta descripción es adecuada para un material subtropical de madurez intermedia o un material tropical de madurez precoz a intermedia. Para cada estación experimental en ambos ciclos se corrieron simulaciones para 5 fechas de siembra durante cada año desde 1973 a 1990 (Cuadro 1). Las fechas de siembra se distribuyeron alrededor del tiempo normal de siembra para cada estación en cada ciclo.

Simulación Espacial

Para la simulación espacial, el modelo se corrió para cada una de las celdas en la región del norte de América Latina (México hasta Panamá). Nuevamente, se usaron genotipos de 18 hojas, pero la fecha de siembra fue el 15 de abril. Para cada celda, se creó un archivo climático diario del promedio mensual y el modelo se utilizó para predecir la fecha probable de antesis.

La información resultante se produjo en un formato adecuado para usarse en el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI (Universidad de Clark, Massachusetts, USA). El sistema SIG se usó para agrupar las fechas de antesis para pudiesen ser mapeadas mas fácilmente.

Para los propósitos de este trabajo, las fechas de antesis de 70 días o mayores se consideraron como el límite máximo de adaptación fenológica de este genotipo. Se podrían usar otros criterios para obtener resultado similares como por ejemplo fecha promedio de la primera helada.

RESULTADOS Y DISCUSION

Variación Fenológica en las Estaciones de CIMMYT

Dentro de una estación y ciclo, las fechas de emergencia variaron poco a través de las fechas de siembra (Cuadro 2). El rango mayor (2-3 días) en la fecha de emergencia fue entre la primer y última fecha de siembra en el ciclo A (invierno) en Poza Rica y Tlaltizapán.

La fecha de antesis a través de los años examinados fue menos variable (desviación estándar baja) durante el ciclo B (verano) en Poza Rica y Tlaltizapán. En Poza Rica en este ciclo, casi no hubo cambio en la fecha promedio de antesis en relación a la fecha de siembra (Cuadro 2, Figura 1a), y solamente un pequeño cambio en la fecha de madurez. Sin embargo, en Tlaltizapán la fecha de antesis varió de 54 días (1979, 1983) a 62 días (1977) para la siembra de junio 1 (Figura 1b). La Figura 1b muestra claramente las interacciones de la fecha de siembra para cada estación. Por ejemplo, en 1986 el rango de la fecha de antesis con respecto a las fechas de siembra fue solamente de tres días mientras que en 1989 el rango fue de nueve días.

Cuadro 1. Fecha de siembra usada en simulación de siembra en las estaciones de CIMMYT

Estación y ciclo	Fecha de siembra - (Fecha Juliana)				
	1	2	3	4	5
Poza Rica A y Tlaltizapán A	Oct 15 (288)	Nov 1 (305)	Nov 15 (319)	Dic 1 (335)	Dic 15 (349)
Poza Rica B y Tlaltizapán B	Mayo 15 (135)	Junio 1 (152)	Junio 15 (166)	Julio 1 (182)	Julio 15 (196)

Cuadro 2. Promedio y desviación estándar (SD) de las fechas de emergencia, antesis y madurez pronosticadas para 1973-1990 en estaciones de CIMMYT.

Estación y ciclo	Fecha de siembra (Juliana)		Emergencia		Antesis		Madurez		
			Promedio	SD	Promedio	SD	Promedio	SD	
Poza Rica (ciclo A) (invierno)	1	288	5.9	0.7	70.8	7.6	138.1	8.2	
	2	305	6.4	0.9	80.5	7.8	143.2	7.6	
	3	319	6.8	1.5	84.8	7.6	143.8	6.9	
	4	335	7.6	1.3	86.9	6.2	142.4	6.1	
	5	349	8.7	1.5	85.8	5.7	138.5	5.8	
	(ciclo B) (verano)	1	135	5.1	0.3	49.7	1.4	97.1	2.1
		2	152	5.0	0.0	50.4	1.5	97.8	2.2
		3	166	5.1	0.2	50.9	1.3	98.4	1.8
		4	182	5.1	0.2	50.8	1.3	99.3	2.4
		5	196	5.0	0.0	50.7	1.3	100.6	2.5
Tlaltizapán (ciclo A) (invierno)	1	288	6.4	0.5	74.2	4.1	138.6	5.5	
	2	305	6.9	0.8	79.5	4.2	140.9	5.8	
	3	319	7.4	0.8	81.3	4.0	140.4	5.7	
	4	335	7.4	0.7	81.6	4.7	138.2	5.7	
	5	349	8.1	0.9	80.5	4.7	135.4	5.7	
	(ciclo B) (verano)	1	135	5.2	0.4	55.9	2.2	109.1	3.1
		2	152	5.2	0.4	57.6	2.3	110.8	3.2
		3	166	5.6	0.5	59.0	2.4	112.7	3.3
		4	182	5.9	0.4	59.9	1.9	114.4	3.2
		5	196	5.9	0.2	60.1	1.6	115.6	2.9

En el ciclo A de Poza Rica y Tlaltizapán el rango en la fecha de antesis promedio fue mayor que en el ciclo B, en parte debido a la emergencia mas lenta. Si ignoramos la fecha mas temprana de siembra (Oct 15) el rango es mucho menor. Sin embargo, las desviaciones estándar en la fecha de antesis son mayores que en el ciclo B, principalmente en Poza Rica (Figura 2a). Para una siembra de noviembre 1, la fecha de antesis varió de 68 días (1988) a 103 días (1976). Para este ciclo el promedio y variación en las fechas de antesis fue menor en Tlaltizapán que en Poza Rica (Figura 2b). Es interesante notar que el final cálido del ciclo A en ambas estaciones da como resultado fechas promedio de madurez similares tanto en las siembras tempranas como tardías (Cuadro 2).

Simulación Espacial

Como puede verse en la Figura 3, una gran parte del norte de América Latina se consideró inadecuada para este genotipo usando el criterio de una base de 70 días. Poza Rica cae en la categoría de 50-54 días y Tlaltizapán en la categoría de 55-59 días.

Esto está de acuerdo con los promedios a largo plazo pronosticados por la información de la estación de CIMMYT para esta fecha de siembra (no se presenta esta información). La Figura 3 también muestra que este genotipo en esta fecha de siembra puede florecer en una fecha similar en Poza Rica como podría hacerlo en una parte de Yucatán, en la costa noreste de México, Belice y en partes de Nicaragua. En Tabasco y la parte oriental de Yucatán así como en muchas partes de la costa del Pacífico, la fecha de antesis sería ligeramente mas temprana. Como puede suponerse, la fecha de antesis en Tlaltizapán también podría ser igual a la de la mayor parte de las áreas de altitud media.

Dado que esta base de datos existe también para América del Sur, Asia y Africa, podríamos interpretar la adaptabilidad potencial de los diferentes genotipos en áreas muy alejadas de nuestras estaciones y de localidades de ensayos internacionales de CIMMYT. De hecho, la información de las localidades internacionales de ensayos pueden ser usadas para verificar y validar las predicciones del modelo.

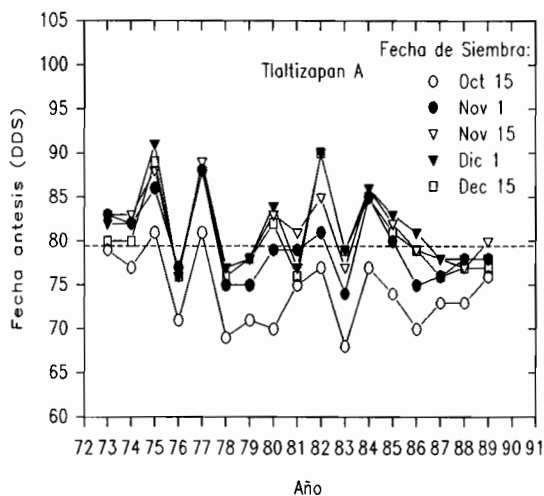
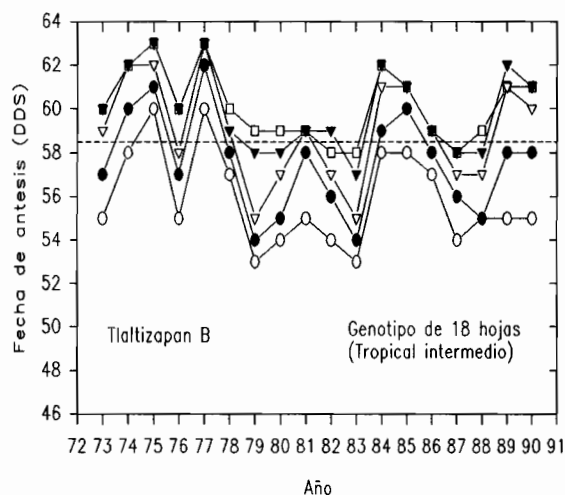
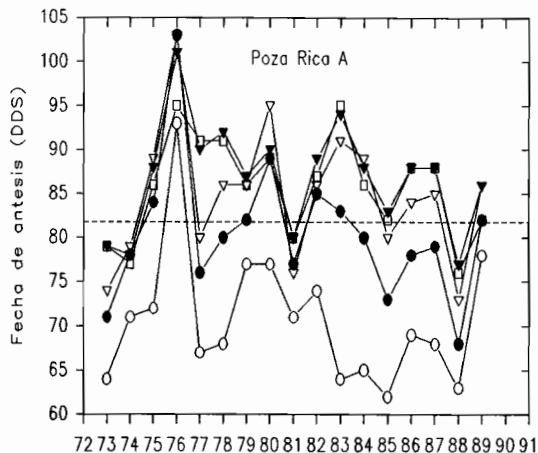
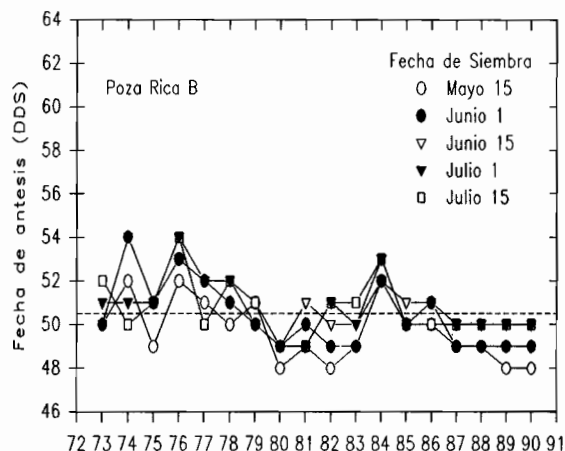


Figura 1. Fecha pronosticada de antesis para un genotipo de 18 hojas sembrado en cinco fechas de siembra en el ciclo B en Poza Rica y Tlaltizapán en los años 1973-1990 (la línea punteada es el promedio a través de fechas de siembra y años)

Figura 2. Fecha pronosticada de antesis para un genotipo de 18 hojas sembrado en cinco fechas de siembra en el ciclo A en Poza Rica y Tlaltizapán en los años 1973-1990 (la línea punteada es el promedio a través de fechas de siembra y años)

CONCLUSIONES

1. El modelo de simulación presentado en este trabajo ilustra la variabilidad en la fecha de antesis que puede resultar de la variación inter-anual en clima. Esta variación es probablemente mayor de lo que podemos anticipar, particularmente en el ciclo A. Esperamos, que este análisis demuestre que los modelos de simulación pueden proveer una manera fácil y eficiente de examinar dichas interrogantes.

2. Mediante la simulación en computador podemos examinar los efectos de las diferentes fechas de siembra

y también de diferentes genotipos. Combinando modelos de crecimiento y rendimiento estos modelos simples de la fenología nos permiten progresar en este tipo de análisis.

3. Analizando la variabilidad del clima podemos hacer preguntas tales como: ¿Qué tan frecuentemente el medio ambiente representa ciertos riesgos para un cultivo? Por ejemplo, es la frecuencia en la falla de un cultivo (o bajos rendimientos) debida a heladas o a sequía y lo suficientemente alta para que consideremos usar un tipo diferente de germoplasma para un ambiente en particular?

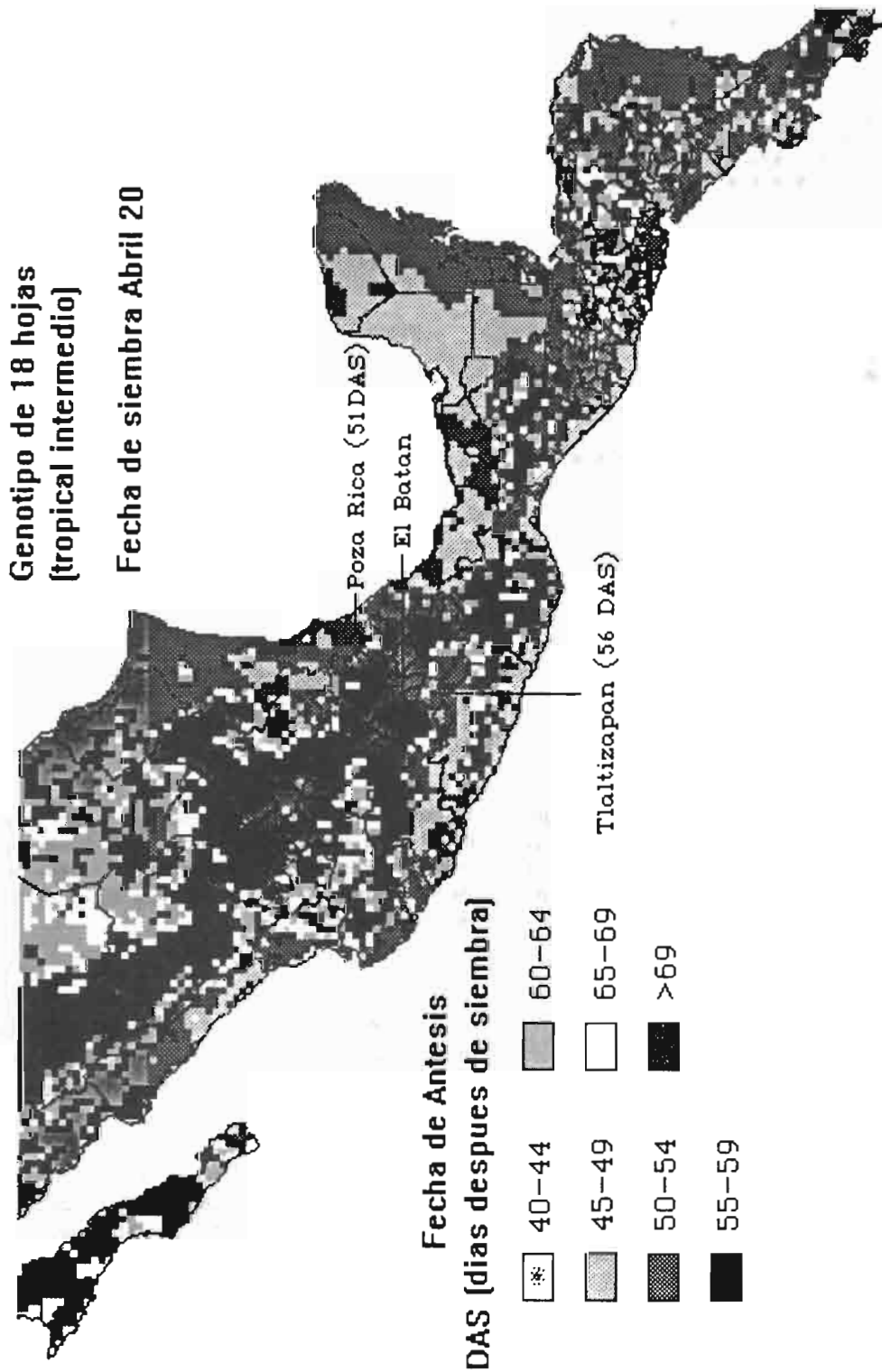


Figura 3. Fecha pronosticada de antesis para un genotipo de 18 hojas sembrado el 20 de abril en el norte de América Latina.

4. Si hemos caracterizado algunos de estos medio ambientes con modelos, podemos usar las extensas bases de datos disponibles ligadas a sistemas SIG, para determinar la extensión de los megambientes en términos de experiencias sobre el cultivo y no solamente como informes sobre clima y suelo.

Muchow, R.C., Sinclair, T.R. and Bennett, J.M. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agronomy Journal* 82, 338-343.

REFERENCIAS

Corbett, J.D. 1992. An evaluation of global climate GIS databases for identification of crop environments: A case study for Northern Latin America. En Proceedings of the 58th Annual Meeting of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 1, Albuquerque, 1992. pp. 51-61.

Uso de Modelos de Simulación para Examinar la Variación Fenológica del Germoplasma de Maíz de CIMMYT.

II. Variación Genética

Scott C. Chapman

Resumen

La descripción fenológica apropiada de los materiales de maíz, el acceso a la información sobre clima, y el uso de modelos fenológicos de simulación en computador, han permitido a los científicos lograr un mejor entendimiento de la variabilidad en comportamiento de los genotipos cuando se desarrollan en ambientes diferentes a los de las estaciones experimentales. En este trabajo se propone un sistema de clasificación del germoplasma subtropical y tropical del CIMMYT de acuerdo al tiempo térmico para emisión de estigmas. El sistema propuesto tiene 8 clases actualmente, que se deben considerar como propuestas tentativas, por lo que estamos solicitando retroalimentación de los mejoradores de maíz de la región para ajustarlas y así mejorar el sistema de clasificación.

El subprograma de Fisiología/Agronomía de CIMMYT, México ha estado conduciendo experimentos orientados a caracterizar los efectos ambientales (i.e. temperatura y fotoperíodo) en el desarrollo fenológico de las variedades y poblaciones de maíz del CIMMYT. Una definición adecuada de la respuesta ambiental nos permitirá caracterizar la fenología de los materiales en términos de unidades térmicas para pronosticar su adaptabilidad a diferentes localidades. El uso de unidades de tiempo térmicas puede ser valioso cuando se trata de fijar fechas de siembra y obtener sincronización de floración entre líneas endogámicas.

El método de unidades de calor acumuladas por día (GDD) se usa rutinariamente para caracterizar la fenología del maíz de zonas templadas. Sin embargo, se ha observado que a menudo este método no es adecuado para el maíz tropical por dos razones importantes:

1. La sensibilidad al fotoperíodo del maíz tropical es más alta que la del templado (i.e. el fotoperíodo necesita ser considerado cuando se siembran materiales de CIMMYT en longitudes de día mayores a las 14 horas).

2. Los materiales tropicales de maíz de valles altos no tienen la misma respuesta a la temperatura que otros materiales (templados y tropicales/subtropicales).

Aunque todavía estamos trabajando en los parámetros finales de la descripción fenológica de los materiales de maíz de CIMMYT, el acceso a la información sobre clima y el uso de modelos fenológicos de simulación nos han facilitado el análisis de las respuestas. Se ha desarrollado un programa de computadora (CIMMET) diseñado para resumir la información meteorológica y el cálculo de varios tipos de sumas de tiempo térmico para las estaciones de CIMMYT en El Batán, Poza Rica, Tlaltizapán y Toluca. Para la elaboración de este documento, usamos este software con el fin de caracterizar el germoplasma de CIMMYT.

MODELOS DE FENOLOGIA

Para efectos de análisis calculamos cuatro tipos de modelos de tiempo térmico (Figura 1):

- (1) Temperatura base únicamente (la tasa de crecimiento aumenta con la temperatura).
- (2) como en (1) con una respuesta plana sobre una temperatura óptima.
- (3) como en (2) con una disminución en porcentaje de la tasa de crecimiento sobre una temperatura óptima.
- (4) CERES-MAIZ (como en 3, pero dividida en intervalos de 3 horas durante el día).

Las temperaturas máxima y mínima para cada día se usan con cada uno de estos modelos para calcular el grado de desarrollo para un día, el cual es multiplicado por (Topt-Tbase) para darnos unidades de calor que luego se suman para cada día.

¹ Fisiólogo Programa de Maíz CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Apdo. Postal 6-641 CP 06600. México D.F. México.

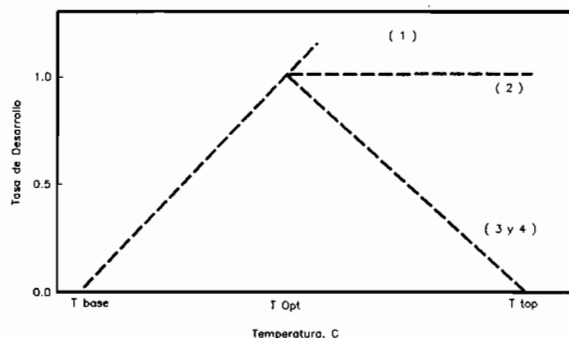


Figura 1. Modelos para el cálculo del tiempo termal de acuerdo a la temperatura.

Para cada modelo, el usuario puede modificar las temperaturas cardinales. El modelo básico es del tipo (3) con temperaturas cardinales de 7°, 30° y 53°C. Para materiales de valles altos, 30°C se cambia por 26°C. No esperamos necesariamente que estas temperaturas sean las más adecuadas para el germoplasma de CIMMYT pero al momento representan nuestros mejores estimados. Se debe notar que actualmente, el fotoperíodo no se usa como modificador en ninguno de los modelos de fenología utilizados.

GERMOPLASMA DE CIMMYT

Usando la base de datos CIMMYT/MSU (prototipo de prueba) para almacenamiento de datos de Ensayos Internacionales del CIMMYT, se extrajo la información para todas las entradas en ensayos desarrollados en Poza Rica, Tlaltizapán y El Batán durante 1989-91. Se suprimieron los ensayos que les faltó la fecha de siembra o antesis y/o la fecha de emisión de estigmas. La información de los archivos se registró en una forma adecuada para su procesamiento con el programa de computadora CIMMET. El Modelo 3 con temperaturas de 7°C, 30°C y 53°C se utilizó para calcular el tiempo térmico para la antesis y para la emisión de estigmas. El archivo del genotipo se procesó y se clasificó por número de población o pool. Los promedios de la fecha de emisión de estigmas y tiempo térmico se calcularon para cada población.

Los resultados muestran la pequeña variación observada dentro de las poblaciones a la vez que ilustran las diferencias marcadas entre poblaciones. Los promedios de las poblaciones variaron entre 930 a

1280°Cd con el modelo utilizado.

Considerando factores externos como constantes, los tiempos térmicos serían los mismos para todas las entradas de una población en todas las fechas y localidades de siembra. Sin embargo, fuentes potenciales de error (algunas asociadas con las fechas de floración) incluyen:

1. El uso de la fecha real de siembra, si esta no es la misma que la fecha de riego, o el uso de la fecha de riego si el suelo estaba húmedo cuando se sembró.
2. Errores en el cálculo de la antesis y fecha de emisión de estigmas como días después de la siembra.
3. La tendencia en las fechas de floración a mostrar cierta variación como resultado de la selección.
4. Los efectos de fotoperíodo (especialmente en invierno a verano).
5. El ajuste imperfecto del modelo utilizado.

La Figura 2 indica el rango de las poblaciones de CIMMYT basado en los promedios calculados de tiempos térmicos a la fecha de floración. Las columnas sombreadas son las poblaciones tropicales.

En el Cuadro 1 esta información se presenta junto con la clasificación de la madurez de cada población tal como se proporcionó en el reporte final de 1991 de Ensayos Internacionales. En el lado derecho se re-clasificaron en 6 clases de madurez posibles de acuerdo al tiempo térmico a la floración.

Asimismo se indica que para algunas poblaciones la clasificación de CIMMYT no está de acuerdo con la clasificación de acuerdo a tiempo térmico.

En el Cuadro 2, se propone un sistema de clasificación del germoplasma subtropical y tropical de CIMMYT de acuerdo al tiempo térmico para emisión de estigmas. Este sistema tiene 8 clases actualmente, que se deben considerar como propuestas tentativas, por lo que estamos solicitando retroalimentación de los mejoradores de maíz para ajustarlas y así mejorar el sistema de clasificación.

Cuadro 1. Poblaciones de maíz de CIMMYT tropicales y subtropicales clasificadas por tiempo térmico a emisión de estigmas (TTSI)

Población	Clase presente Adaptación	Madurez	TTSI (°Cd)	Cambio de clase	Nueva clase
93	subtropical	precoz	924		1
91	subtropical	precoz	931		1
46	subtrop/temp	precoz	955		1
92	subtropical	precoz	959		1
48	templado	precoz	1004		2
33	subtrop/temp	intermedio	1004		2
45	subtropical	intermedio	1035		2
30	tropical	precoz	1072		3
47	temp/subtrop	intermedio	1103		3
31	tropical	precoz	1106		3
49	trop/subtrop	intermedio	1122		3
34	subtropical	tardío	1128	int/tard	3
23	tropical	intermedio	1136	prec/inter	3
42	subtropical	tardío	1166		4
44	subtropical	tardío	1180		4
25	tropical	int/tard	1189	inter.	4
26	tropical	intermedio	1201	int/tard	5
29	tropical	tardío	1210	int/tard	5
24	tropical	tardío	1251		6
28	tropical	tardío	1254		6
27	tropical	tardío	1258		6
36	tropical	tardío	1260		6
22	tropical	tardío	1260		6
32	tropical/subtrp	int/tard	1260	tardío	6
21	tropical	tardío	1264	tardío	6
43	tropical	tardío	1284		6

Cuadro 2. Sistema propuesto de clasificación para madurez de poblaciones de maíz tropical y subtropical

Clase	Tiempo Térmico para Floración (°Cd)	Germoplasma
0	<900	subtrop. extra precoz
1	900-1000	subtrop. precoz (y trop. extra precoz)
2	1000-1050	subtrop. intermedio
3	1050-1150	subtrop. int/tardío y tropical precoz
4	1150-1200	subtrop. tardío e intermedio tropical
5	1200-1250	tropical intermedio/tardío
6	1250-1300	tropical tardío
7	>1300	tropical extra tardío

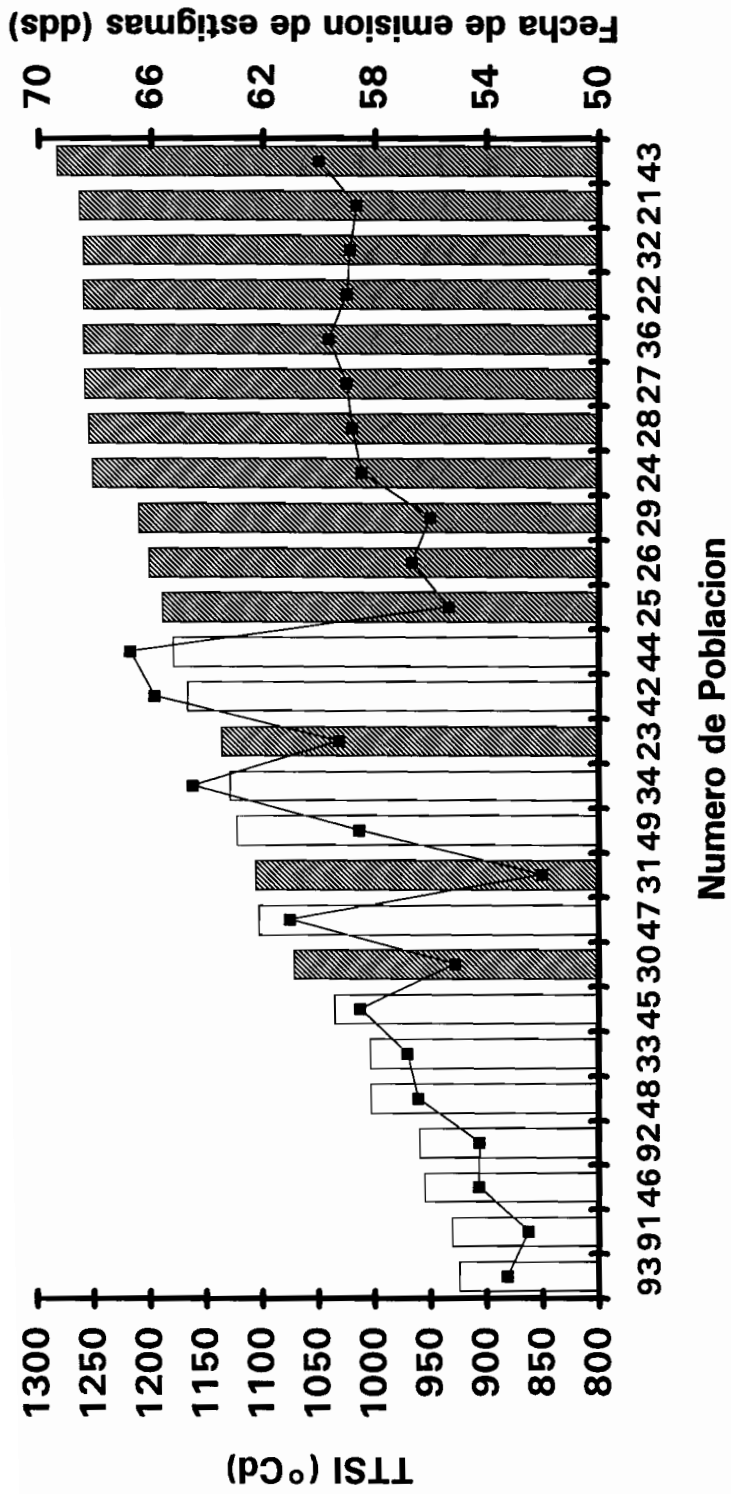


Figura 2. Ranqueo del germoplasma tropical y subtropical de CIMMYT basado en tiempo termal a emisión de estigmas.

La variación en los días a emisión de estigmas es una función del sitio en el cual los genotipos se desarrollan en las localidades de ensayos internacionales. Sin embargo, mientras continuemos confiando en las descripciones tradicionales de la fecha de floración, no podremos comparar razonablemente la adaptabilidad relativa de varias poblaciones a diferentes localidades, particularmente para las zonas de transición. La descripción de las poblaciones de CIMMYT se puede mejorar al incluir un número mayor de ensayos internacionales, particularmente en diferentes localidades. Esto nos permitiría definir un modelo térmico más adecuado y tener más confianza en el muestro de la variabilidad poblacional.

REFERENCIAS

- Corbett, J.D. 1992. An evaluation of global climate GIS databases for identification of crop environments: A case study for Northern Latin America. En Proceedings of the 58th Annual Meeting of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 1, Albuquerque, 1992. pp. 51-61.
- Muchow, R.C., Sinclair, T.R. and Bennett, J.M. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agronomy Journal* 82, 338-343.

El Diseño Alfa-Látice en Fitomejoramiento y Agronomía: Generación y Análisis

H. J. Barreto, G. O. Edmeades, S. C. Chapman y J. Crossa¹

RESUMEN

Este documento introduce un módulo en Español que facilita e integra el uso del software disponible para la generación y análisis de diseños alfa-látice. Como introducción se presentan algunas consideraciones teóricas sobre el uso de los diseños de bloques incompletos para la evaluación de genotipos y también su uso potencial en ensayos de agronomía. Se espera que este tipo de módulo de software de fácil utilización ofrezca un recurso adicional para aumentar la eficiencia de la investigación agrícola por parte de los Programas Nacionales de habla hispana.

El diseño tradicional para la evaluación experimental en agricultura es aquel en donde las unidades experimentales están agrupadas en bloques completos donde cada uno contiene todos los tratamientos. En este tipo de diseño se asume que la variación entre unidades dentro del bloque es menor que entre unidades en bloques diferentes, de tal manera que la precisión del experimento se incrementa en virtud del control del error (Steel y Torrie, 1980). Asimismo, en este tipo de diseño cada tratamiento ocurre en igual frecuencia en cada bloque por lo que se dice que los bloques y los tratamientos son ortogonales entre sí. Esta propiedad de ortogonalidad facilita los cálculos aritméticos necesarios para producir un análisis de varianza. El Cuadro 1 presenta una clasificación general de los principales diseños experimentales de uso común en agricultura. Cuando el número de tratamientos es grande el diseño de bloques al azar o el cuadrado latino es generalmente inadecuado dado que el tamaño de bloque se incrementa. El resultado es una mayor heterogeneidad, que puede dar lugar a que la variación dentro de bloques sea mayor que la variación entre bloques. Esto tiende a aumentar el error experimental y disminuye la habilidad del investigador

para observar diferencias estadísticas entre tratamientos en razón de una menor precisión del experimento.

En un diseño de bloques incompletos (e.g látice) el número de tratamientos por bloque es menor que el número de tratamientos totales (e.g. genotipos). Un diseño de bloques incompletos se considera resoluble si las unidades de bloque están organizadas en repeticiones completas (al juntar los bloques de una repetición se obtiene un juego completo de todos los tratamientos).

En la organización de campo un diseño de bloques incompletos es indistinguible de un diseño de bloques completos al azar. Sin embargo, consideraciones de tipo práctico hacen que todos los diseños látice utilizados en agricultura sean resolubles. Esta propiedad de los látices hace que estos nunca puedan ser menos eficientes que un diseño de bloques completos.

La calidad de un diseño de bloques incompletos se juzga por el factor de eficiencia de la media armónica (FEMA), que es la relación entre la varianza promedio con la que un diseño de bloques completos estimaría las diferencias entre tratamientos, y la varianza promedio con la cual el diseño de bloques incompletos estimaría estas diferencias si los cuadrados medios del error fuesen iguales en ambos casos. El valor de FEMA es siempre mayor de 0 y menor de 1. La diferencia simplemente mide el grado de confusión (confounding) entre tratamientos causados por el uso de bloques incompletos. Sin embargo, durante la implementación del experimento o en el campo debemos tratar de lograr la máxima homogeneidad posible dentro de cada bloque incompleto en función de las condiciones de suelo, gradientes de fertilidad, humedad, pendiente, etc. Una regla general para la selección del tamaño de bloque incompleto (k) es tomar un valor igual o más pequeño que la raíz cuadrada del número total de tratamientos ($k \leq \sqrt{v}$). Para juzgar si definitivamente el arreglo en bloques incompletos ha sido más efectivo que el diseño de bloques completos debemos esperar a que el experimento ha sido terminado y comparar los errores experimentales respectivos.

¹Respectivamente, Agrónomo Programa de Maíz, Coordinador unidad Fisiología y Agronomía Programa de Maíz, Fisiólogo Programa de Maíz y Coordinador Unidad de Biometría. CIMMYT, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Apdo. Postal 6-641 CP 06600. México D.F. México. La introducción sobre los diseños de bloques incompletos está basada en las notas de clase del Dr. Carlos González (Instituto SAS, México). ²El sistema integrado ALFA se desarrolló en lenguaje Turbo Pascal (c) v 7.0 de Borland International 1992.

Cuadro 1. Clasificación de los principales diseños experimentales.

Tipo	Diseño de Bloque	Diseño Fila-Columna
Bloques Completos	Bloques al Azar	Cuadrado Latino
Diseño de bloques incompletos resolubles	Látice Cuadrado * simple * triple	Cuadrado Látice
	Látice Rectangular * simple * triple	
	Diseños Alfa-látice	Diseños alfa de fila y columna

Fuente: Notas de clase Dr. Carlos González. SAS Institute, México.

La eficiencia relativa (ER) para un diseño látice se define como la relación entre la varianza promedio de las diferencias entre tratamientos (ignorando el uso de los bloques incompletos y asumiendo que las repeticiones fueron bloques completos) y la varianza promedio de las diferencias entre tratamientos en el diseño de bloques incompletos (incluyendo recuperación de la información entre bloques). La razón ER es análoga a la definición de FEMA pero en la primera se utilizan los estimados observados del error experimental. Si el efecto de bloque fue efectivo en remover variabilidad (e.g. la reducción del cuadrado medio del error compensa el efecto de confusión causado por los bloques incompletos), entonces ER será mayor que uno. Como se indicó, la propiedad de los látices de poder revertirse a un diseño de bloques completos en caso que la eficiencia sea menor de 1.0, garantiza que los látices nunca pueden ser menos eficientes que un diseño de bloques completos. El Cuadro 2 resume los tipos principales de látices cuadrados y rectangulares.

El Cuadro 3 ilustra algunos de los eventos históricos de importancia en el desarrollo del diseño experimental incluyendo el desarrollo de los diseños alfa por Patterson y Williams en 1976. Estos son diseños de bloques incompletos del tipo (0,1). La nomenclatura en paréntesis indica el tipo de restricción que la combinación de pares de entradas tienen con respecto al arreglo de bloques incompletos.

Cuadro 2. Tipos principales de Látices Cuadrados y Rectangulares.

Nombre	No. tratamientos	No. reps múltiplo de	No. bloques múltiplo de
Látice Simple	k^2 *	2	2k
Látice Triple	k^2	3	3k
Látice Rectangular Simple	$k(k+1)$	2	2(k+1)
Látice Rectangular Triple	$k(k+1)$	3	3(k+1)

* El número de parcelas por bloque es k en todos los casos
Fuente: Notas de clase Dr. Carlos González. SAS Institute, México.

Cuadro 3. Algunos eventos importantes en la historia del diseño experimental.

Año	Evento
1910	El concepto de replicación se introduce en la investigación agrícola
1920's	R.A. Fisher introduce el concepto de aleatorización y los diseños de bloques completos (control de variación en una dirección) y cuadrado latino (control de variación en dos direcciones perpendiculares entre si).
1936	Frank Yates introduce el diseño de Látice Cuadrado
1940	Frank Yates introduce el diseño de Cuadrado Látice
1949	Harshbarger introduce el diseño Látice Rectangular
1976	Patterson y Williams introducen los diseños alfa
1978	Patterson, Williams y Hunter producen un catalogo de diseños alfa para experimentos en el rango de 20-100 tratamientos y hasta 4 repeticiones
1984	Paterson y Patterson desarrollan un algoritmo que automáticamente genera diseños alfa. En 1987 este algoritmo se hace disponible para uso en computadores personales.

Fuente: Notas de clase Dr. Carlos González. SAS Institute, México.

En el caso de un diseño alfa látice (0,1), el primero y segundo dígito indican respectivamente que dos tratamientos cualquiera nunca están juntos (0) o están juntos en un solo bloque del experimento (1). Para un número de tratamientos (v), de tamaño de bloque (k) y número de repeticiones (r), existen muchas variantes de diseños alfa-látice para esta combinación; sin embargo, solo algunas tienen un FEMA suficientemente alto mientras que la gran mayoría son inaceptables. El mejor diseño alfa-látice para una combinación específica de repeticiones, bloques y tratamientos se obtiene a partir del algoritmo desarrollado por Paterson y Patterson (1984), el cual constituye la esencia del programa ALPHAGEN.

En el programa de maíz de CIMMYT los diseños alfa-látice se han utilizado desde 1986, particularmente en la unidad de fisiología-agronomía para evaluación de ensayos con más de 200 genotipos, generalmente en parcelas de 2 surcos x 5.5m de largo. En estos se han observado eficiencias relativas que van de 1.0 a 2.0, pero su uso ha estado restringido a ensayos de evaluación de genotipos. Sin embargo, no existe información sobre el uso de alfa-látices en experimentos de carácter agronómico en CIMMYT. En ensayos de agronomía el uso de estos diseños podría ser útil cuando no existe una relación de tipo factorial entre tratamientos, el número de tratamientos es grande (e.g. >16) y la heterogeneidad de suelo del sitio experimental es alta.

En estos casos se sugiere el uso de un diseño de bloques incompletos, con el fin de controlar mejor la variabilidad aleatoria mediante un uso eficiente de las herramientas del diseño experimental.

A pesar de contar con el acceso a los programas de computo para generar el diseño y análisis de los experimentos alfa-látice, su utilización ha permanecido relativamente desconocida por parte de los investigadores de los Programas Nacionales de Latinoamérica. Entre las razones más importantes están la ausencia de una interfase de software en Español para captura y creación de archivos de entrada, la dificultad de manipulación de la información en un formato de uso común por los investigadores de la región, y la falta de integración con otras herramientas de análisis (gráficas, algoritmos de selección, regresión, etc).

Este documento tiene como objetivo introducir un modulo de software en Español que facilita e integra el uso de los programas ALPHAGEN y LATANOVA (Scottish Agricultural Statistics Service, Edinburgh)

para el diseño y análisis de diseños alfa-látice (0,1) en las disciplinas de fitomejoramiento y agronomía.

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

Actualmente se utilizan en CIMMYT los programas ALPHAGEN para generar aleatorizaciones y ALPHANAL para el análisis de varianza en experimentos con diseño alfa-látice. Estos dos programas fueron desarrollados originalmente por el Scottish Agricultural Statistics Service, Edinburgh, en lenguaje FORTRAN y fueron traídos en código nativo al CIMMYT en 1986 por el Dr. Carlos González para su uso en la computadora VAX. Posteriormente, ALPHAGEN fue modificado por personal de Servicios de Cómputo del CIMMYT para producir una salida en forma de libro de campo y fue adaptado para su utilización en micro-computadoras IBM compatibles. Asimismo, el programa ALPHANAL fue modificado por el Dr. G. O. Edmeades para incorporar las estadísticas de diseño de bloques completos al azar y su nombre cambió a LATANOVA. Posteriores modificaciones a los programas, particularmente para mejorar el formato de salida de los resultados, han sido realizados por los Drs. S. C. Chapman y G. O. Edmeades del Programa de Maíz de CIMMYT.

A continuación se presentan algunas de las características generales de los dos programas de computo en su implementación actual para uso en microcomputadoras IBM y compatibles.

ALPHAGEN.EXE genera la aleatorización y el plan de campo para diseños alfa-látice (0,1). Los límites actuales del software son: máximo número de repeticiones = 6; máximo número de entradas = 300. El programa recibe información del usuario y despliega el plan de aleatorización en la pantalla o lo almacena en un archivo en disco. Los resultados incluyen el plan de campo, el código de repetición, bloque, entrada y el valor de FEMA. La manipulación posterior de esta información, utilizando un procesador de palabras, ha sido un requisito para poder utilizar el programa de análisis.

LATANOVA.EXE realiza el análisis de varianza y produce las medias ajustadas por látice. Los promedios ajustados pueden ser luego utilizado en análisis posteriores pero tienen que ser extraídos del archivo de salida utilizando un procesador de palabras en formato ASCII. Este programa tiene requisitos estrictos con respecto a las características de los archivos de entrada (3 diferentes archivos), lo que ha

dificultado, en cierta medida, su utilización. Este programa no permite el análisis en presencia de observaciones faltantes.

Con fines de capacitación, el programa de maíz de CIMMYT desarrolló programas de conversión de datos con el fin de facilitar el uso de los programas de generación y análisis. Posteriormente estos se integraron en un sistema de software en el que se asume que toda la información está centralizada en archivos del MSTAT (Michigan State University). Este paso ha facilitado la manipulación de la información dado que el MSTAT es un programa que se utiliza frecuentemente en los programas nacionales para la captura de datos y el análisis de resultados experimentales en fitomejoramiento y agronomía.

ESTRUCTURA DEL SISTEMA INTEGRADO

Para iniciar el sistema el usuario debe cargar los programas del disco de distribución en un subdirectorío en el disco duro y luego activa el software ALFA desde el sistema operativo.

La Figura 1 ilustra el menú de opciones disponibles para el análisis de experimentos con diseño alfa-látice.

El usuario selecciona la opción deseada localizando el cursor sobre esta o simplemente presionando la letra que describe la opción.

Las opciones en este menú principal incluyen:

1. Generación de nuevas aleatorizaciones
2. Análisis de varianza y obtención de medias ajustadas por látice
3. Asistente de selección
4. Editado y transformación de archivos.

Cada una de las opciones cuenta con un subprograma específico que captura la información necesaria para ejecutar la opción deseada. Las preguntas para las opciones de generar nueva aleatorización (1) y análisis de varianza (2) se presentan en las Figuras 1 y 2, respectivamente. La descripción de la opción del Asistente de Selección no se presenta en este documento puesto que existe un instructivo en Español que detalla su utilización (Barreto et al., 1991).

La opción de editado y transformación de datos en archivo (4) se ilustra en la Figura 3. Para esta última, el programa utiliza las convenciones de software descritas en el programa Asistente de Datos MST (Barreto y Raun, 1988).

Figura 1. Menú principal de opciones para generación y análisis de diseños alfa-látice.

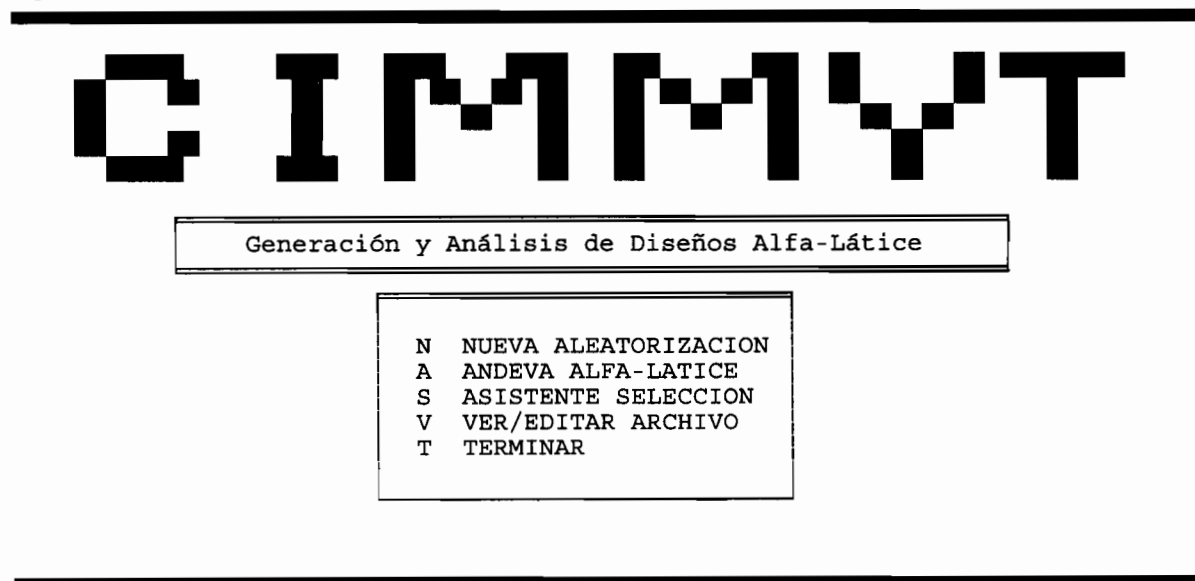


Figura 2. Preguntas para crear una nueva aleatorización en diseño alfa-látice.

Aleatorizaciones para Diseños Alfa-Látice (0,1)	
Número de repeticiones en diseño	2
Número de entradas (genotipos)	4
Número de entradas en cada bloque	2
Primera repetición aleatorizada (S,N)?	S
Número de testigos	0
Nombre de archivo de salida MSTAT	TEMPO

Figura 3. Pantalla de preguntas para transformar un archivo MSTAT seguido de la ejecución del programa LATANOVA.EXE con almacenamiento de medias ajustadas por látice.

Análisis de Varianza con LATANOVA	
Archivo que contiene los datos	
Variable con número de repetición	1
Variable con número de bloque	2
Variable con número de parcela	3
Variable con número de entrada	4
Variable(s) a ser analizadas	1
Primer caso a ser incluido	1
Ultimo caso a ser incluido	1
Archivo MSTAT para medias ajustadas	
Eficiencia del diseño alfa-látice	0.9999
Título del trabajo	

Figura 4. Pantalla de preguntas para ver, editar o transformar un archivo MSTAT en disco.

Creación / Lectura de Archivos	
Nombre de archivo de datos	

A continuación se describen en detalle las preguntas de las opciones 1 y 2 para generación y análisis de diseños alfa-látice, respectivamente.

Opción 1: Generar Nueva Aleatorización

Número de repeticiones en diseño

Número de repeticiones por tratamiento.

Número de entradas (genotipos)

El número total de entradas o tratamientos incluyendo testigos.

Número de entradas en cada bloque

Esta pregunta define el tamaño de bloque. La versión actual del software sólo permite un tamaño de bloque siempre y cuando sea un número entero múltiplo del total de entradas. Por ejemplo, si el número de entradas total es de 33, los posibles tamaños de bloque solo pueden ser 11 o 3.

Primera repetición aleatorizada (S,N)?

Cuando el usuario desea que la primera repetición no este aleatorizada sino en orden de entrada (lo cual no es aconsejable), se debe responder a la pregunta con N.

Número de testigos

Si el usuario desea incluir un cierto número de cultivos como testigos, el programa ALPHAGEN intenta colocar cada testigo en bloques distintos. En la aleatorización los testigos utilizan los números de entrada de 1 hasta el número especificado de testigos. Los valores superiores describen las entradas bajo evaluación.

Nombre de archivo de salida MSTAT

Este es el archivo maestro (formato MSTAT) generado por la opción 1 del programa, el cual deberá ser utilizado para la entrada de datos de las variables a ser analizadas, y para la utilización del programa de análisis (opción 2). Sin embargo, el programa de la opción 1 genera archivos intermedios en formato ASCII, con el mismo nombre pero con diferentes extensiones y que contienen toda la información producida por ALPHAGEN.

Estos archivos son: Extensión .FDS contiene toda la información de salida incluyendo el FEMA. Extensión .DSN contiene el libro de campo en formato ASCII (Rep, Bloque, Parcela y Entrada, en ese orden). Se debe recordar que la información del diseño en formato MSTAT se encuentra almacenada en los archivos con las extensión .TXT y .DAT.

Opción 2: Análisis de Varianza Alfa-Látice

Archivo que contiene los datos

Este es el archivo MSTAT generado por el programa de diseño (opción 1), al cual se le han añadido variables con los datos que se desean analizar (e.g. rendimiento, fechas de floración, ASI, etc).

Variable con número de repetición

El número de la columna en el archivo MSTAT que contiene el código de repetición para el diseño alfa-látice generado por ALPHAGEN.

Variable con número de bloque

El número de la columna en el archivo MSTAT que contiene el código de bloque para el diseño alfa-látice generado por ALPHAGEN.

Variable con número de parcela

El número de la columna en el archivo MSTAT que contiene el código de parcela para el diseño alfa-látice generado por ALPHAGEN.

Variable con número de entrada

El número de la columna en el archivo MSTAT que contiene el código de entrada o tratamiento para el diseño alfa-látice generado por ALPHAGEN.

Variable(s) a ser analizadas

Números de columnas en el archivo MSTAT que contiene las variables a ser utilizadas en el análisis de varianza. El software tiene un máximo de 10 variables que pueden ser analizadas a la vez. Estas se especifican con su número de columna respectivo separadas por espacios (e.g. 3 4 5) o utilizando notación de guión (e.g. 3-5).

Primer caso a ser incluido

Caso inicial del archivo MSTAT a ser incluido en el análisis.

Ultimo caso a ser incluido

Caso final del archivo MSTAT a ser incluido en el análisis.

Archivo MSTAT para medias ajustadas

Nombre de archivo provisto por el usuario, a ser utilizado para almacenar las medias ajustadas por látice, para su posterior utilización con el Asistente de Selección. El nombre deberá ser diferente al del archivo maestro que contiene los datos originales.

Eficiencia del diseño alfa-látice

Este valor de FEMA lo genera ALFAGEN y se encuentra registrado en el archivo con extensión .FDS y en el archivo MSTAT generado por la opción 1 (como parte del descriptor de archivo).

Titulo del trabajo

Este es simplemente un descriptor opcional definido por el usuario para identificar el trabajo en el programa de análisis. Este aparece como un título en la parte superior de cada análisis de varianza.

REQUISITOS DEL HARDWARE

Para poder ser utilizado en forma integrada el sistema de software requiere de una computadora IBM compatible (8086, 286, 386 o 486 con o sin coprocesador matemático), equipada con mínimo de 640 K de RAM, un disco duro con mínimo de 2 Megabytes de espacio disponible, y bajo el sistema operativo MSDOS 3.3 o mayor. Sin embargo, en equipo 8086 y 286 sin coprocesador, el tiempo de ejecución particularmente para análisis de varianza es considerablemente mayor.

La cantidad de memoria disponible al programa después de cargar el sistema operativo deberá ser al menos de 590K para ejecución del programa ALPHAGEN. Las otras opciones tienen requerimientos de memoria menores (512K). La cantidad de memoria disponible se puede obtener mediante el comando CHKDSK o MEM (solo en versiones del DOS 5.0 y superiores).

TIPOS DE ARCHIVOS DE SALIDA

Opción 1: Generar Nueva Aleatorización

Como se indicó anteriormente, la opción 1 produce una serie de archivos en formato ASCII y binario que contienen la aleatorización y información adicional sobre el diseño alfa-látice. Estos archivos comparten el mismo nombre (definido por el usuario) pero difieren en sus extensiones. De acuerdo a su extensión cada archivo contiene:

Archivo ALPHAGEN.IN : Este archivo contiene la información necesaria para ejecutar el programa ALPHAGEN.EXE utilizando redirección de entrada o *piping* (e.g. ALPHAGEN <ALPHAGEN.IN). Este paso es transparente al usuario dado que ALPHAGEN es ejecutado directamente desde la opción 1. El archivo está en formato ASCII y contiene las respuestas a las preguntas requeridas por ALPHAGEN.EXE, con una respuesta por línea incluyendo los números aleatorios (random seeds) utilizados para generar la aleatorización (estos son provistos automáticamente por el programa de la opción 1). Dado que el nombre de este archivo es siempre el mismo (y es recreado cada vez que se utiliza la opción 1), el archivo que se encuentra en disco corresponde siempre a la última aleatorización realizada.

Archivos con extensión .FDS : Información de salida (formato ASCII) que incluye el FEMA, número de repeticiones, bloques, y entradas (incluyendo testigos) y el libro de campo con la aleatorización en orden de parcela y con encabezamientos en cada columna (Cuadro 4 y 5).

Archivos con extensión .DSN : Contiene el libro de campo en formato ASCII (Rep, Bloque, Parcela y Entrada, en ese orden) pero sin encabezamientos. Este archivo puede ser utilizado para generación de libros de campo utilizando un procesador de palabras.

Archivos con extensión .TXT y .DAT : Archivos binarios de MSTAT que contienen el plan de campo ordenado por número de parcela. Este archivo aparece listo para ser editado por el usuario al final de cada sesión de la opción 1. El usuario deberá entrar las variables de interés utilizando el editor de datos provisto que le permite al usuario añadir variables (columnas) y realizar transformaciones entre variables utilizando las convenciones detalladas en el Asistente de Datos MST (Barreto y Raun, 1988).

Cuadro 4. Ejemplo de un archivo generado por ALPHAGEN.EXE para un experimento hipotético con 2 repeticiones, 24 entradas y 4 bloques incompletos de 6 parcelas cada uno.

El Archivo de Diseño con Extensión (.FDS)

```

DESIGN 1
  2 24  4  6 .780439
  1
                                     SECCION A

  8  7 20 12 16 21
 17  9 15 10  1  4
 19 11  5 23 14  2
  6 24 22 18 13  3

 12 19  2  4 18 24
 22  5 17 21  3  1
  9 11 16 14 20  6
 15 13  7  8 10 23
                                     SECCION B

REPLICATE 1
  1  2  3  4  5  6
  7  8  9 10 11 12
 13 14 15 16 17 18
 19 20 21 22 23 24

REPLICATE 2
  4 13 18 12 22 20
 21 15  7  6 24 11
  8 14  5 17  3 19
  9 23  2  1 10 16
1
                                     SECCION C

      REP      BLOCK      PLOT      RANDOMIZED
      1         1         1         1ST REP
      1         1         2         8
      1         1         3         7
      1         1         4         20
      1         1         5         12
      1         1         6         16
      1         1         7         21
      1         2         8         17
      1         2         9         9
      1         2         10        15
      2         1         26        10
      .         .         .         19
      .         .         .         .
      .         .         .         .
      2         3         38        11
      2         3         39        16
      2         3         40        14
      2         3         41        20
      2         3         42         6
      2         4         43        15
      2         4         44        13
      2         4         45         7
      2         4         46         8
      2         4         47        10
      2         4         48        23
*END*
    
```

Cuadro 5. Explicación de un archivo generado por ALPHAGEN.EXE para un experimento hipotético con 2 repeticiones, 24 entradas y 4 bloques incompletos de 6 parcelas cada uno.

Este es un archivo de texto con cuatro secciones principales. Las únicas secciones importantes son la A y D.

SECCION A

Características del diseño seleccionado.

DISEÑO 1					<u>TIPO DE DISEÑO</u>	
2	24	4	6		.780439	
<u>NO.</u>	<u>REPS</u>	<u>TRTS</u>	<u>BLKS</u>	<u>TAMAÑO</u>	<u>BLK</u>	<u>FACTOR DE EFICIENCIA</u>
1						

SECCION B

Arreglo de campo con parcela 1 en la esquina superior izquierda del bloque 1.

8	7	20	12	16	21	<u>BLOQUE 1</u>
17	9	15	10	1	4	<u>BLOQUE 2</u>
19	11	5	23	14	2	<u>BLOQUE 3</u>
6	24	22	18	13	3	<u>BLOQUE 4</u>

SECCION C

Entradas en cada una de las repeticiones y bloques. Las entradas en la primera repetición se presentan siempre en secuencia. Esta sección es de uso mínimo.

SECCION D

Esta es la sección más importante ya que incluye la aleatorización en formato que puede ser utilizado para preparación de libros de campo o para el uso con LATANOVA y/o el MST.

Opción 2: Análisis de Varianza Alfa-Látice

La opción 2 realiza el análisis de varianza del diseño alfa-látice a través de la ejecución del programa LATANOVA.EXE. Esta opción tiene como requisito básico que los datos a ser analizados se encuentren en formato MSTAT. Durante el proceso de análisis la opción 2 realiza un numero conversiones de archivos para facilitar al usuario el uso de LATANOVA.EXE. Entre estos se cuentan la creación de archivos en formato ASCII con el plan de campo de diseño, los datos a ser analizados y el almacenamiento de medias ajustadas por látice en un archivo binario de MSTAT. Al igual que la opción anterior los archivos de salida comparten el mismo nombre definido por archivo de entrada pero difieren en sus extensiones. De acuerdo a su extensión cada archivo de salida contiene:

Archivo **LATANOVA.IN** : Este archivo contiene la información necesaria para ejecutar el programa LATANOVA.EXE utilizando redirección de entrada o *piping* (e.g. LATANOVA <LATANOVA.IN). Este paso es transparente al usuario dado que LATANOVA es

ejecutado directamente desde la opción 2. El archivo está en formato ASCII y contiene las respuestas a las preguntas requeridas por LATANOVA.EXE, con una respuesta por línea. Dado que el nombre es el mismo (y es recreado cada vez que se utiliza la opción), el archivo que se encuentra en disco corresponde siempre al ultimo análisis realizado con la opción 2.

Archivos con extensión **.DSN** : Contiene el libro de campo en formato ASCII (Rep, Bloque, Parcela y Entrada, en ese orden) pero sin encabezamientos. Este archivo puede ser utilizado para generación de libros de campo utilizando un procesador de palabras.

Archivos con extensión **.LAD** : Datos a ser analizados (formato ASCII) que incluye el número de parcela y las variables de datos separadas por espacios sin con encabezamientos en cada columna.

Archivos con extensión **.VAR** : Formato de lectura de FORTRAN para cada variable y nombres de las variables a ser analizadas.

Cuadro 6. Ejemplo de archivo de salida de LATANOVA (.AOV) con cuadros de análisis de varianza y medias sin y con ajuste por látice para una variable (AD).

#PLOTS= 450 #REPS= 2 # VARS= 225 # BLOCKS/REP= 15	<u>CODIFICACION DE DISEÑO</u>
EFFY= .8889 CRIT= .00 MISS. VAL. CODE=-99.	<u>FEMA (PRIMER VALOR EN LISTA)</u>
ANOVA of Trial 1603M	

ANALYSIS OF VARIANCE FOR VARIABLE AD	<u>VARIABLE ANALIZADA</u>

LATTICE ADJUSTED ANALYSIS	<u>ANDEVA PARA LATICES</u>

SOURCE DF MS	

REPS 1 .0200	
BLK(ADJ) 28 3.9279	
TRT 224 10.7597	
TRT(ADJ) 224 10.3873	
RESID 196 2.6914	

TOTAL 449 6.7877	

F (REPS)= .007 (1, 196 DF)	<u>F CALCULADO DE ANDEVA</u>
F (TRTS)= 3.859 (224, 196 DF)	
AV. SE 1.1922 LSD(0.05) 3.3247 F SIG 1.0 DF 196. CV 2.2	<u>ERROR ESTANDAR, DMS, F, Y CV</u>
RCBD ANALYSIS	<u>ANDEVA PARA BLOQUES COMPLETOS</u>

SOURCE D.F. SUMS OF SQUARES MEAN SQUARES F VALUES	

REPS 1 .25000000 .25000000 .088	
ENTRIES 224 2410.25000000 10.76005000 3.783	
ERROR 224 637.16460000 2.84448500	
TOTAL 449 3047.66500000	

REP MEANS	<u>PROMEDIOS DE REPETICIONES</u>
1 74.102	
2 74.116	
S.E.(DIFF) 1.68656(224)D.F.	<u>ERROR ESTANDAR DE DIFERENCIA</u>
COEFF. OF VARIATION 2.28 OVERALL MEAN 74.1089	<u>CV Y MEDIA GLOBAL</u>
RELATIVE EFFICIENCY RCB/LATT ADJ:	
CALCULATED AS (SED(RCBD)**2/SED(LATT.ADJ)**2)= 1.0007	<u>EFICIENCIA RELATIVA CON RESPECTO A BCA</u>

1	<u>MEDIAS SIN AJUSTAR BCA</u>
1	
ENT |AD |UNADJUSTED MEANS	
|ASI |GY |EPP |GPE |100KW |LODG% |LROLSC |	

1 75.00 1.00 .81 .83 166.05 11.05 16.66 2.16	
2 74.00 2.00 1.19 .65 287.72 12.85 18.06 3.00	
3 72.50 -1.00 1.55 .94 212.12 14.55 11.11 2.50	
.	
225 68.50 -.50 1.71 1.00 264.05 12.30 11.11 3.50	
1	<u>MEDIAS AJUSTADAS POR LATICES</u>
1	
ENT |AD |ADJUSTED MEANS	
|ASI |GY |EPP |GPE |100KW |LODG% |LROLSC |	

1 74.88 1.20 .71 .82 165.69 10.55 23.31 2.42	
2 74.00 1.99 1.19 .67 287.33 13.13 20.00 3.03	
3 72.48 -1.09 1.56 .97 211.99 14.52 12.28 2.47	
.	
225 68.58 -.41 1.70 .99 264.33 12.18 6.45 3.43	
MEAN 74.11 .40 1.03 .86 198.62 11.74 17.01 2.95	
LSD 3.32 2.61 .58 .30 74.69 2.73 30.44 .96	
CV 2.21 318.91 27.36 16.67 19.02 11.36 87.57 15.76	<u>SISTESIS ESTADISTICA</u>

Archivos con extensión **.AOV** : Archivo de salida de LATANOVA.EXE en formato ASCII que contiene los cuadros de análisis de varianza para cada variable analizada y las medias sin y con ajuste de látice (Cuadro 6).

Archivo de Promedios ajustados con extensiones **.TXT** y **.DAT** : Archivo en formato binario de MSTAT que contienen las medias ajustadas por látice para las variables de análisis seleccionadas en la opción 2. El archivo siempre contiene la primera variable con el número de entrada (tratamiento) y la última variable denominada INDICE. Esto facilita el uso de este archivo con el Asistente de Selección (Barreto et al., 1991). Este archivo puede ser modificado con el editor del Asistente de Datos MST (Barreto y Raun, 1988).

EJEMPLOS DE ARCHIVOS DE SALIDA

Opción 1: Generar Nueva Aleatorización

El Cuadro 4 presenta un ejemplo de una aleatorización para un archivo con 24 entradas en bloques incompletos de tamaño 6 y dos repeticiones. El archivo que se presenta corresponde a aquel con extensión **.FDS** (diseño completo). El Cuadro 4 presenta notas en la margen derecha en donde se detallan las secciones importantes de este archivo de salida. El Cuadro 5 tiene describe brevemente cada una de las secciones del archivo de salida con extensión **FDS**.

Opción 2: Análisis de Varianza Alfa-Látice

El Cuadro 6 ilustra un ejemplo de archivo de salida (extensión **.AOV**) producido por LATANOVA. En la margen derecha se presentan las descripción en Español de cada uno de los parámetros estadísticos y elementos de análisis.

REFERENCIAS

- Barreto, H.J. y W.R. Raun. 1988. Asistente de Datos MST: Guía de operación del software. Material de Capacitación CIMMYT. Lisboa 27, Apdo. postal 6-641 06600 México D.F. México.
- Barreto, H.J., J.A. Bolaños y H.S. Córdova. 1991. INDICE DE SELECCION: Guía para la Operación del Software. Manual de Capacitación Regional. Programa Regional de Centroamérica y el Caribe. Guatemala. Apdo Postal 231-A, Guatemala
- González, C. 1989, Curso de estadística aplicada. CIMMYT unidad de Capacitación. Notas de Clase. Mimeo.
- Paterson, L.J. y H.D.Patterson. 1984, An algorithm for generating alpha-lattice designs. ARS Combinatoria. 16A:87-98.
- Patterson H.D. y E.R. Williams, 1976. A new class of resolvable block designs. Biometrika 63:83-92.
- Steel R.G.D. y J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. Second edition. McGraw Hill. New York.

