

Informe Especial de Trigo No. 26b

**Cultivo intercalado de cereales con
especies de leguminosas que fijan N:**

Un método para conservar los recursos
del suelo en sistemas de bajos insumos

M.P. Reynolds, K.D. Sayre y H.E. Vivar

Julio de 1994

Informe Especial de Trigo No. 26b

**Cultivo intercalado de cereales con
especies de leguminosas que fijan N:**

**Un método para conservar los recursos
del suelo en sistemas de bajos insumos**

M.P. Reynolds, K.D. Sayre y H.E. Vivar

Julio de 1994

Indice

Prólogo

Introducción

Materiales y métodos

Resultados

Discusión

Resumen

Bibliografía

Lista de Informes Especiales de Trigo

Nota sobre la cita de este Informe Especial de Trigo

Se difunde la información contenida en este informe especial de trigo, bien entendido que no se publica en el sentido de una revista especializada. En consecuencia, no se debe citar este informe en otras publicaciones sin el consentimiento de E. Acevedo, Jefe del Subprograma de FMC.

Cita correcta: Reynolds, M.P., K.D. Sayre y H.E. Vivar. 1993. Cultivo intercalado de cereales con especies de leguminosas que fijan N: Un método para conservar los recursos del suelo en sistemas de bajos insumos. Informe Especial de Trigo No. 26b. México, D. F.: CIMMYT.

ISSN: 0187-7787

ISBN: 968-6923-16-0

Descriptores AGROVOC: Cereales, leguminosas, cultivos intercalados, factores de la producción, conservación del suelo, manejo del suelo, fijación de nitrógeno.

Códigos de categorías AGRIS: F08, F01.

Clasificación decimal Dewey: 631.582.

Prólogo

La producción de cereales con pocos insumos y gran eficiencia contribuye a aliviar la pobreza, incrementa los ingresos agrícolas y favorece la conservación del medio ambiente (los suelos y el agua). Este Informe Especial de Trigo examina los resultados de cuatro años de investigación sobre el cultivo de la cebada y el trigo intercalados con diversas leguminosas que fijan N. Los resultados son muy alentadores ya que se cultivaron la cebada y el trigo con niveles subóptimos de nitrógeno en ambientes de temporal (con una precipitación de alrededor de 500 mm/ciclo) y no disminuyeron los rendimientos de los cultivos intercalados. El uso equivalente de la tierra alcanzó 1.54.

Con este modelo se pretende ayudar a los pobres a obtener una producción agrícola adecuada y, al mismo tiempo, conservar sus recursos naturales aun en las situaciones más difíciles. Las prácticas de manejo de los cultivos examinadas son la base para instaurar sistemas agrícolas sostenibles. Instamos a los programas nacionales de investigación agrícola a ensayar modelos similares al presentado en este trabajo.

Edmundo Acevedo

Jefe

Subprograma de Fisiología y Manejo de Cultivos

Programa de Trigo del CIMMYT

Introducción

Los recursos naturales del mundo en desarrollo se ven cada vez más amenazados a medida que se intensifican las actividades del sector agrícola. Un importante recurso que se pierde es la capa arable del suelo. Los bajos niveles de materia orgánica en el suelo y la cobertura incompleta de éste, comúnmente vinculadas con el cultivo intensivo, son dos de los factores principales que conducen a una erosión acelerada (Brady, 1974). A mediano plazo, se puede mantener la fertilidad del suelo aplicando nutrimentos inorgánicos. El cultivo intercalado de especies que pueden ayudar a controlar la erosión del suelo (Langdale *et al.*, 1992) y/o utilicen el nitrógeno fijado en forma simbiótica en lugar del de las fuentes inorgánicas (Tomar *et al.*, 1988; Danso y Papastylianou, 1992) tal vez constituyan un método más sostenible para resolver el problema.

En este estudio se examinaron los beneficios de sembrar trigo y cebada intercalados con leguminosas que fijan N cuando los recursos del suelo son escasos e inestables. Los ambientes de temporal en sitios de altitud elevada, como los de las comunidades agrícolas de autoconsumo en las regiones altas de los Andes o los Himalayas (Weismantel, 1992), con frecuencia se caracterizan por tener suelos frágiles y muy lixiviados y por una carencia de infraestructura que impide el empleo de insumos externos. La mayor parte de nuestra investigación se efectuó en la meseta central de México, donde se cultivan el trigo y la cebada con relativamente pocos insumos y en condiciones de temporal, a una altitud media de 2,250 m sobre el nivel del mar (Byerlee y Longmire, 1986).

Cuando se intercalan con otros cultivos, el trigo y la cebada en general producen rendimientos más bajos que los obtenidos con el monocultivo, si bien el uso equivalente de la tierra a menudo es más alto en comparación con el monocultivo (Papadakis, 1941; Ofori y Stern, 1987). Pusimos a prueba la hipótesis de que, en el caso de la cebada y el trigo cultivados con niveles subóptimos de nitrógeno, la radiación solar no usada puede ser absorbida por un cultivo intercalado que fije N, sin perjudicar el cultivo principal. Además, deseábamos demostrar que la leguminosa puede proporcionar otros beneficios: una mayor cobertura del suelo, una fuente de forraje, leguminosas de grano para el consumo humano y/o un aporte considerable de materia orgánica y nitrógeno para el suelo, ya sea como abono verde o, indirectamente, en la forma de residuos del cultivo o excremento animal.

Materiales y métodos

En el primer experimento se sembraron en asociación seis especies de leguminosas intercaladas con el trigo (*Triticum aestivum* L.), con dos niveles de nitrógeno. Los tratamientos de leguminosas incluyeron *Vicia sativa* L. (vicia

Cuadro 1. Resumen de los tratamientos y el diseño usados en cinco experimentos sobre el cultivo intercalado de cereales y especies de leguminosas.

Métodos	Experimento:				
	1	2	3	4	5
Ciclo	1989-90	1990	1991	1991-92	1992
Diseño: ^a	BCA	BCA	BCA	PD(F1)	PD(F1)
Reps:	4	4	6	3	3
Factor 1: legum.	7 ^d	2(+2 ^c)	3	3	3
Factor 2 ^b : manejo	N	AV/FOR	-	N	N
Preparación de la tierra:	Camas	Plana	Camas	Camas	Camas
Longitud de parcela:	5 m	5 m	9 m	9 m	9 m
Ancho de parcela:	4.8 m	3.2 m	3.6 m	3.6 m	3.6 m
Distancia entre surcos:	20 cm	20 cm	15 cm	15 cm	15 cm
# Surcos: ^e	2	2	3	3	3
# Surcos omitidos:	2	2	3	3	3
Testigo con poca distancia entre surcos?: ^f -		+	+	+	+
Temp. media para ciclo C:	17.8	16.6	17.3	13.6	17.0
Prom. de horas de luz solar/ día por ciclo:	8.7	6.0	5.8	6.4	5.6

^a Los paréntesis indican el factor de las parcelas divididas (Fn).

^b Número de tratamientos, incluida la parcela (o parcelas) testigo sin leguminosa.

^c Los 2 testigos (+2) no pudieron ser incorporados en la estructura factorial del experimento ya que el factor 1, el empleo de leguminosas, es mutuamente excluyente con respecto a los tratamientos testigo.

^d De las seis leguminosas cultivadas, tres se incorporaron como abono verde durante el ciclo de trigo y tres se cosecharon como forraje al final del ciclo (véase la sección de materiales y métodos).

^e Número de surcos sembrados entre los grupos de surcos omitidos.

^f Véanse en la sección de materiales y métodos los detalles acerca de los testigos con poca distancia entre surcos.

BCA, bloques completos al azar; PD, parcelas divididas; N, fertilizante de nitrógeno; AV, incorporación como abono verde; FOR, leguminosa cosechada en forma secuencial como forraje.

común), *Vicia villosa* Roth (vicia velluda), *Trifolium alexandrinum* L. (trébol bersim), *Trifolium incarnatum* L. (trébol rojo), *Trifolium repens* L. de Nueva Zelandia (trébol de Nueva Zelandia), *T. repens* L. Ladino (trébol ladino) y un tratamiento testigo sin ninguna leguminosa asociada con el trigo. Se escogieron las leguminosas por su potencial de establecimiento rápido y un hábito de crecimiento relativamente breve, después de consultar al Centro de Investigación Rodale, Kutztown, PA, Estados Unidos de América (M. Sarrantonio, comunicación personal), y la semilla fue suministrada por Kaufman Seeds, Inc. (Ashdown, Arkansas, EUA). Los tratamientos de fertilizante nitrogenado, de 0 y 50 kg de N/ha, se aplicaron en bandas a los surcos de trigo en la siembra, en forma de urea granulada. Se sembró la variedad de trigo Opata 85 en todas las parcelas, con una densidad estándar de siembra de 120 kg/ha. Se sembraron las leguminosas al mismo tiempo que el trigo, con densidades estándares de siembra (para las leguminosas en monocultivo) de 15-20 kg/ha. Toda la semilla de las leguminosas fue inoculada antes de la siembra con cepas apropiadas de rizobio (Nitragin Inoculants, Liphatech, Inc., Milwaukee, Wisconsin, EUA). El Cuadro 1 muestra el diseño de los experimentos, el espaciamiento entre surcos, el tamaño de las parcelas y los datos ambientales. El primer experimento se efectuó en el noroeste de México, un típico ambiente de cultivo de trigo de primavera, en una estación experimental del gobierno, el Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO), situado a 27° 20' de latitud norte y 109° 54' de longitud oeste, a 38 m sobre el nivel del mar. El suelo es del tipo arcilloso pesado. Se aplicó fertilizante fosfatado al ensayo durante la preparación de la tierra, en forma de triple superfosfato y una dosis de 50 kg de P₂O₅/ha. Antes de la siembra, en esa tierra se había cultivado maíz sin fertilizante nitrogenado con el fin de agotar y homogeneizar el nitrógeno del suelo. Se cultivó el ensayo durante el ciclo de trigo de primavera, desde diciembre de 1989 a abril de 1990. Después del riego de la siembra se aplicaron cinco riegos más durante el ciclo, cuando se agotaba aproximadamente el 50% de la humedad disponible en el perfil de 0-60 cm, porcentaje determinado mediante el muestreo gravimétrico. Cuando el cultivo alcanzó el estadio de hoja bandera (estadio 40 de Zadok), las leguminosas de crecimiento más rápido -la vicia, la vicia velluda y el trébol bersim- habían acumulado alrededor de 500 kg/ha de biomasa sobre la superficie del suelo y fueron incorporadas con palas entre los surcos como abono verde. Se dejaron sin tocar las tres leguminosas restantes hasta la cosecha del cultivo de trigo cuando, aún verdes y en flor, se cosecharon para efectuar estimaciones de la biomasa seca. El trigo se cosechó con maquinaria; se midió directamente el rendimiento y más tarde, después de secar submuestras en el horno durante 48 horas a 70 °C, se ajustó a un contenido de humedad de 0%. También se estimó el contenido proteínico del grano (AACC, 1983). Se sembró al mismo tiempo un ensayo secundario, adyacente al principal, que consistió en una serie de tratamientos de nitrógeno con repeticiones en parcelas con trigo en monocultivo. Los

tratamientos, en aumentos de 50 kg de N/ha desde 0 a 150 kg/ha, se aplicaron en forma de urea en la siembra.

Todos los experimentos subsiguientes se llevaron a cabo entre 1990 y 1992 en la estación experimental del CIMMYT de El Batán, situada en la región central de México, a 19° 31' de latitud norte y 98° 50' de longitud oeste y a 2,249 m sobre el nivel del mar. El segundo experimento incluyó el trigo en asociación con dos especies de leguminosas, el trébol bersim y la vicia velluda. Se usaron dos métodos con cada leguminosa:

- Se incorporó la leguminosa en el estadio de hoja bandera del cultivo de trigo, como abono verde.
- Se cosechó la leguminosa en forma secuencial durante el ciclo, como forraje.

En el Cuadro 1 se describe la disposición de la siembra. Se incluyeron dos parcelas testigos en el ensayo: el testigo 1, donde se sembró el trigo con un espaciamiento entre surcos de 20 cm, sin omitir ningún surco, espaciamiento que es tradicional para el trigo, y el testigo 2, donde, aunque no hubo un cultivo intercalado, se sembró el trigo con el mismo espaciamiento entre surcos usado cuando el cultivo se asocia con una leguminosa (Cuadro 1). En todas las parcelas se sembró la variedad de trigo Bacanora, con una densidad estándar de siembra de 120 kg/ha, excepto en los casos en que se indica algo diferente. Cuando se cosecharon en forma secuencial las leguminosas como forraje, se cortó toda la biomasa sobre la superficie del suelo y se retiró de las parcelas, salvo 1 ó 2 cm de tejido del tallo, que se dejó para el rebrote. Se efectuaron las cosechas cuando la leguminosa alcanzaba aproximadamente la máxima cobertura del suelo. Se estimó la biomasa sobre la superficie en la cosecha secando en el horno las leguminosas de una submuestra de cada parcela. Inmediatamente antes de los cortes de forraje, se estimó visualmente la interceptación de la luz en la parcela testigo de trigo y en las parcelas de cultivos intercalados, calculando en forma aproximada el porcentaje de puntos de luz solar visibles a nivel del suelo en el mediodía solar. No se aplicó fertilizante a los tratamientos antes o durante el ensayo, ya que los niveles de P residual en el suelo no eran un factor limitante. No se irrigó el cultivo, que recibió 480 mm de precipitación durante el ciclo. El ensayo fue sembrado a comienzos de junio de 1990, al inicio del tradicional ciclo de trigo de temporal en la región, y fue cosechado a comienzos de octubre de 1990. Se cosechó el trigo a mano y se estimaron los componentes del rendimiento a partir de submuestras. Se midió el contenido de nitrógeno en muestras de grano, paja y leguminosas (AACC, 1983).

Se sembraron al mismo tiempo dos ensayos secundarios, adyacentes al principal. Uno consistió en una serie de tratamientos de nitrógeno con repeticiones en parcelas de trigo en monocultivo, sembrado con la misma disposición usada para los cultivos intercalados (Cuadro 1). Los tratamientos estuvieron constituidos

por aumentos de 50 kg de N/ha desde 0 a 250 kg/ha, aplicados en la siembra en forma de urea. En el otro ensayo secundario, se midió la producción de forraje en parcelas con repeticiones de trébol bersim y vicia vellosa en monocultivo, cosechados al mismo tiempo que las leguminosas de los cultivos intercalados. Estas parcelas se sembraron al voleo, utilizando densidades estándares de siembra.

El tercero, el cuarto y el quinto experimento constituyeron un ensayo a más largo plazo, en el que se comparó un cultivo intercalado de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y habas (*Vicia faba* L.) con dos métodos de siembra de cebada en monocultivo. Los tratamientos se cultivaron en las mismas parcelas en ciclos consecutivos. La cebada intercalada fue sembrada en tres surcos separados entre sí por 15 cm, sobre camas de 90 cm (Cuadro 1), con una densidad de siembra de 75 kg/ha. Se sembraron las habas en un solo surco entre las camas, con una densidad de siembra de 60 kg/ha, pero más tarde se ralearon las plantas hasta dejar una cada 50 cm. En ambas parcelas testigo con monocultivos, se sembró la cebada con la misma disposición usada en los cultivos intercalados. No obstante, en una de las parcelas testigo se sembró al voleo entre las camas una cantidad adicional de 50 kg de semilla de cebada/ha. En el tercero y el quinto experimento las condiciones fueron de temporal, con una precipitación de 450 y 540 mm, respectivamente. El cuarto experimento coincidió con la temporada invernal seca y se le aplicó riego. Antes de sembrar el ensayo, en la parcela se había cultivado avena sin fertilizante nitrogenado, con el fin de agotar y homogeneizar los niveles de nitrógeno del suelo. Durante el llenado de granos, se calculó la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) a mediodía, a partir de mediciones de la RFA encima del cultivo y a nivel del suelo usando un ceptómetro de puntos de luz solar (Decagon Devices, Pullman, Washington, EUA). Cuando la cebada maduró, se cosechó a mano el grano, se trilló y pesó y se estimaron los componentes del rendimiento a partir de submuestras. Se cosecharon las habas aproximadamente una semana después. Se dejaron *in situ* los residuos de los cultivos, que fueron incorporados durante la preparación de la tierra para el ciclo subsiguiente. En todos los ensayos, se controlaron químicamente las enfermedades y plagas. Las malezas fueron combatidas mediante la desyerba manual.

Resultados

En el primer experimento, ninguno de los cultivos intercalados de leguminosas tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre los rendimientos de trigo, en comparación con el monocultivo testigo. Los rendimientos promediaron 3.5 t/ha sin aplicar N (Cuadro 2) y 4.3 t/ha con 50 kg de N/ha, sin que hubiera una interacción significativa entre el tratamiento de leguminosas y el nivel de nitrógeno. Varió la productividad de las leguminosas en asociación con el trigo. El trébol bersim y las dos especies de vicia tuvieron el crecimiento más rápido,

Cuadro 2. Rendimiento de grano y porcentaje de proteína en el grano de trigo intercalado con seis distintas especies de leguminosas que fijan N, sin aplicar N; CIANO, Ciudad Obregón, noroeste de México, 1989-1990 (Experimento 1).

Especies de leguminosas	Rend. trigo (t/ha)	Proteína en el grano (%)
Leguminosa incorporada como abono verde en el embuchamiento		
Trébol bersim	3.8	10.1
Vicia	3.7	9.4
Vicia velluda	3.5	9.2
Corte de leguminosa para forraje después de la madurez del trigo		
Trébol rojo	3.5	8.8
Trébol blanco ladino	3.2	8.7
Trébol blanco de NZ	3.8	9.5
Testigo 0 kg N/ha	3.3	9.5
Testigo 50 kg N/ha	4.2	9.4
E.E.	0.21	0.38
D.F.	7	7

Cuadro 3. Rendimiento de grano, biomasa de paja y distribución del nitrógeno en trigo intercalado con dos especies de leguminosas que fijan N, usadas como forraje o abono verde, sin aplicar N; CIMMYT, El Batán, México, 1990 (Experimento 2).

Tratamiento	Rendimiento de grano (t/ha)	Biomasa de la paja (t/ha)	Proteína en el grano (%)	Nitrógeno en la paja (%)
Bersim				
Abono verde	2.6	4.1	11.5	0.73
Forraje	2.5	4.6	10.7	0.68
Vicia				
Abono verde	2.4	3.6	12.3	0.71
Forraje	2.3	4.0	10.6	0.65
Testigo				
2 surcos omitidos	2.3	3.9	10.9	0.61
Ningún surco omitido	2.1	3.4	10.4	0.59
E.E.	0.16	0.29	0.15	0.44
D.F.	5	5	5	5

Cuadro 4. Biomasa total, N total en el cultivo, uso equivalente de la tierra y estimación de la interceptación de luz a mediodía en trigo y leguminosas forrajeras en cultivo intercalado o monocultivo, CIMMYT, El Batán, México, 1990 (Experimento 2).

Sistema	Biomasa (t/ha)	N total en el cultivo (kg/ha)	Uso equivalente de la tierra	Interceptación de luz (%)
Cultivo intercalado				
Bersim	5.6	214	-	-
con trigo	7.1	79	-	-
Total	12.7	293	1.54	85
Vicia	6.7	263	-	-
con trigo	6.4	71	-	-
Total	13.1	334	1.4	90
Monocultivo				
Bersim	14.9	566	1.0	100
Vicia	18.7	643	1.0	100
Testigo				
2-surcos omitidos	6.1	69	1.0	60
Ningún surco omitido	5.4	59	1.0	70

pero su biomasa sólo se midió antes de incorporarlas como abono verde y fue de aproximadamente 0.5 t/ha de peso seco con ambos niveles de N. Se estimó que la biomasa de las otras leguminosas en el momento de la cosecha del trigo era de 1.8 t/ha para el trébol rojo y de 0.75 t/ha para las dos especies de trébol blanco, y no varió en forma significativa según el nivel de N. El contenido proteínico del grano de trigo no fue estadísticamente diferente del observado en el testigo en ninguno de los tratamientos (Cuadro 2), incluidos aquéllos con los niveles más altos de aplicación de N. Aunque los tratamientos con abono verde no tuvieron un efecto estadísticamente significativo, el rendimiento de grano y el contenido proteínico del trébol bersim tendieron a ser más altos con el abono verde en los tratamientos con cero aplicación de nitrógeno (Cuadro 2). El análisis de la respuesta al nitrógeno aplicado indicó una respuesta aproximadamente lineal hasta el nivel de 100 kg/ha, con un rendimiento previsto con cero aplicación de N de 3,4 t/ha, y una respuesta de 19.5 kg de rendimiento adicional por kg de N aplicado. El máximo rendimiento con 150 kg de N/ha fue de 5.4 t/ha.

En el segundo experimento, sólo uno de los tratamientos de cultivos intercalados afectó el rendimiento del trigo en forma considerable; el bersim incorporado como abono verde aumentó el rendimiento del trigo en un 36% con respecto al del testigo sin surcos omitidos (Cuadro 3). Ambos tratamientos con abono verde

aumentaron considerablemente el contenido proteínico del grano de trigo, en un 18 y 11% en comparación con el testigo, con la incorporación de la vicia y el bersim, respectivamente (Cuadro 3). Al igual que los rendimientos de trigo, el contenido proteínico del grano no fue afectado por los tratamientos de forraje intercalado. Sin embargo, los tratamientos de forraje intercalado cosechados en forma secuencial tuvieron un considerable efecto sobre la productividad total, ya que dieron aproximadamente 2.4 veces más biomasa seca que el testigo sin surcos omitidos (Cuadro 4). El contenido de nitrógeno del forraje cortado permaneció relativamente constante, con un promedio de 3.8%, y no varió en forma significativa según los tratamientos. La interceptación de la luz, estimada en forma visual inmediatamente antes de las cosechas de forraje, en ambos tratamientos de forraje intercalado fue sistemáticamente más alta que en cualquiera de los monocultivos (Cuadro 4). En los ensayos secundarios, las parcelas con vicia y bersim en monocultivo, cosechadas en forma secuencial en las mismas fechas que las leguminosas intercaladas (Cuadro 4), produjeron respectivamente un total de 18.7 y 14.9 t/ha de peso seco durante el ciclo. Se usaron estos valores para calcular los usos equivalentes de la tierra (Cuadro 4), según la definición de Willey y Osiru (1972). La respuesta a los tratamientos con nitrógeno fue aproximadamente lineal en rangos de 0 a 200 kg de N/ha. El rendimiento previsto con cero N fue de 2.2 t/ha, y la respuesta del rendimiento a la aplicación fue de 16.6 kg/ha por kg de N. Hubo escasa respuesta de rendimiento a la aplicación de N en una cantidad superior a 200 kg/ha.

En el tercero, el cuarto y el quinto experimento, donde se intercaló cebada con habas, los rendimientos de cebada en las parcelas de cultivo intercalado no fueron significativamente diferentes desde el punto de vista estadístico del rendimiento de la parcela testigo con surcos alternados sin sembrar. A pesar de que no hubo interacciones significativas entre las fechas de siembra y los tratamientos, se detectaron diferencias importantes entre las fechas de siembra en cuanto a la productividad de la cebada y las habas. El tercer experimento sufrió aniego hasta el espigamiento de la cebada, lo cual hizo que los rendimientos promediaran sólo 0.8 t/ha, mientras que las habas alcanzaron una biomasa de 1.7 t/ha. En el cuarto experimento, cuando se promediaron los rendimientos de los tres tratamientos, el rendimiento de la cebada fue de 2.9 t/ha sin aplicación de N (Cuadro 5), y de 3.4 t/ha con la aplicación de 50 kg de N/ha. El N aplicado no afectó el rendimiento (1.4 t/ha) de las habas, en comparación con el rendimiento de éstas sin aplicación de N (Cuadro 5), pero la biomasa total de las habas se redujo en 0.5 t/ha. En el sistema de cultivos intercalados, la interceptación de radiación con actividad fotosintética medida a mediodía durante el llenado de grano fue en promedio un 45% más alta que en el sistema de monocultivo en melgas (Cuadro 5). No hubo una interacción significativa de los niveles de N y los tratamientos intercalados sobre el rendimiento de cebada en los experimentos 4 y 5. En el quinto experimento, los rendimientos de cebada promediaron 1.9 t/ha sin N y 2.5 t/ha con N, en todas las arreglos de siembra. El rendimiento y la biomasa de las habas equivalieron a

Cuadro 5. Rendimiento de grano, componentes del rendimiento e interceptación de luz a mediodía en sistemas de cultivo de la cebada con dos espaciamientos o intercalada con habas, sin aplicar N después del segundo ciclo de cultivo continuo, El Batán, México, 1991-1992 (Experimento 4).

Sistema	Rendimiento (t/ha)	Biomasa (t/ha)	Intercept. de luz (%)	Espigas/m ²	Granos/espiga
Cebada en monocultivo					
1) Melgas	2.6	9.1	55	777	8.1
2) Surcos de 90-cm	3.1	7.5	43	521	14.4
Cultivo intercalado:					
Cebada	3.0	7.4	--	522	15.2
Habas	1.4	4.9	--	--	--
3) Total	4.5	12.3	75	--	--
E.E. ^a	.29	.43	2.8	19.1	.88
D.F.	4	4	4	4	4

^a Sólo para comparar los promedios de cebada.

menos de la mitad de los observados en el experimento anterior, probablemente a causa de una infección por *Fusarium* transmitido por la semilla. Al comparar los tratamientos de monocultivo, la parcela testigo en la que se había sembrado cebada en los surcos omitidos mostró una considerable reducción (12%) del rendimiento, en comparación con la parcela testigo con surcos sin sembrar alternados, haciendo un promedio de todos los experimentos.

Discusión

Se diseñaron estos experimentos con tres objetivos principales:

- Poner a prueba la hipótesis de que, para el trigo cultivado con niveles subóptimos de nitrógeno, la luz no es un factor limitante y puede ser usada por un cultivo intercalado que fije N sin afectar el cultivo principal;
- evaluar el comportamiento de distintas leguminosas que fijan N, cuando se les intercala con el trigo en surcos alternados; y
- mostrar un sistema mejorado de cultivo de cebada que, al incluir el cultivo intercalado de una leguminosa, podría beneficiar a los agricultores de escasos recursos en una o más de las siguientes formas: directamente, con el rendimiento adicional en forma de grano o follaje y agregando nitrógeno

al sistema en forma de rastrojo, e indirectamente mediante la estabilización del suelo al incrementar la materia orgánica de éste con residuos animales o vegetales adicionales y aumentar la cubierta del suelo durante el ciclo de cultivo.

En el primer ensayo efectuado en el noroeste de México, hubo dos resultados importantes. Uno fue que las leguminosas que fijan N podían intercalarse con el trigo con niveles subóptimos de N, al parecer sin detrimento del rendimiento o la calidad del grano del trigo (Cuadro 2). El segundo fue que, de las seis leguminosas ensayadas, el trébol bersim y las dos especies de vicia parecieron ser las leguminosas más aptas para el cultivo en asociación con el trigo en esas condiciones. La utilidad de un sistema de este tipo en los ambientes irrigados es discutible y se examina más adelante.

Los experimentos siguientes se realizaron en la estación del CIMMYT en El Batán, en el ambiente de clima templado y precipitación moderada de la meseta central de México. Si bien este ambiente es en sí mismo un posible beneficiario, también sirve como modelo para otras zonas de temporal y de altitud elevada. En el segundo ensayo se estableció que, al intercalar el trigo con la vicia y el trébol bersim, la productividad total del sistema podía llegar a más del doble de la de las parcelas testigos de trigo (Cuadro 4) si la leguminosa se cosechaba en forma secuencial como forraje. Teniendo en cuenta la biomasa producida por las leguminosas en monocultivo, vemos valores favorables del uso equivalente de la tierra de los cultivos intercalados (Cuadro 4). Con el fin de estimar la flexibilidad y sostenibilidad del sistema, se inició un ensayo a más largo plazo en el cual el trigo fue reemplazado por la cebada, ya que ésta se cultiva comúnmente en muchos ambientes marginales. Además, el cultivo forrajero intercalado fue sustituido por habas para estimar la productividad de una leguminosa de grano en el sistema. En el más productivo de los tres experimentos con cebada y habas (experimento 4), el sistema produjo, además de 3 t/ha de cebada, 1.4 t/ha de leguminosa de grano en peso seco y 3.5 t/ha de residuos verdes sobre la superficie del suelo. En el experimento 5, el rendimiento de cebada en las parcelas donde se habían incorporado los residuos de las habas restantes del experimento 4 fue un 10% más alto que en la parcela testigo, pero sólo en el nivel de significancia estadística de 10%. La deficiente respuesta a la incorporación de los residuos de las habas de un ciclo en el siguiente ciclo puede haber obedecido al efecto del movimiento del suelo en la preparación de la tierra, ya que los tamaños de las parcelas eran relativamente pequeños (9 m x 3.6 m).

Era importante aclarar si el uso de surcos omitidos en la siembra del trigo (Cuadro 1), un requisito para este método de intercalado de leguminosas, era en sí perjudicial para los rendimientos de trigo con niveles bajos de N, en comparación con un espaciamiento menor. En ninguno de los ensayos hubo pruebas de que un espaciamiento menor en la siembra produjera algún beneficio para el cultivo de trigo (Cuadros 3 y 5). Por el contrario, cuando se combinaron

los datos en un análisis de todos los experimentos, los tratamientos sin surcos omitidos tuvieron un rendimiento de grano considerablemente menor. En el experimento 4, el hecho de que el rendimiento y los granos por espiga fueran inferiores y que la biomasa total y las espigas por m² fueran superiores en la cebada sembrada en melgas, en comparación con un espaciamiento mayor (Cuadro 5), indicó una distribución de los asimilados más favorable para el rendimiento en el último caso, y sugiere que tal vez el espaciamiento más amplio dio como resultado un aprovechamiento más conservador del N del suelo al principio del crecimiento del cultivo.

La hipótesis de que la luz no interceptada por el trigo cultivado con niveles subóptimos de N puede ser utilizada por un cultivo intercalado que fije N, fue apoyada por los valores de la interceptación de la luz en el experimento de cultivo intercalado de cebada y habas (Cuadro 5), así como por las estimaciones de la interceptación de la luz en el ensayo con trigo y forraje (Cuadro 4). Este resultado contradice lo establecido en otros estudios (Sivakumar y Virmani, 1980; Reddy y Willey, 1981), donde se concluyó que la productividad más alta del sistema de cultivos intercalados se logró mediante la mayor eficiencia en convertir la energía lumínica en materia seca, y no mediante un incremento de la cantidad de energía lumínica absorbida. No obstante, en esos estudios no se examinó específicamente una situación de poco nitrógeno. La mayoría de las investigaciones demuestran que los cereales en general producen rendimientos menores cuando se les intercala, en comparación con el monocultivo (véanse Ofori y Stern, 1987, Cuadro III), aun cuando los usos equivalentes de la tierra pueden ser más altos. Sorprendentemente, se cuenta con pocos datos sobre la situación de escasez de nitrógeno, en la que se podría esperar ver un grado mayor de sinergia entre un cereal y un cultivo intercalado que fije su propio nitrógeno. Hay pruebas de que cuando leguminosas que fijan N se intercalan con cereales, esto aumenta la disponibilidad de nitrógeno en el suelo para el subsiguiente cultivo de trigo (Singh, 1983; Izaurralde *et al.*, 1990; Danso y Papastylianou, 1992). También hay pruebas de que el intercalar un cereal con una leguminosa que fije N, en este caso el mijo perlado con cacahuate, permite el movimiento lateral del nitrógeno fijado desde la leguminosa hacia el cereal (Willey y Reddy, 1981). Usando trazadores de N¹⁵, se ha mostrado un posible mecanismo para el movimiento del nitrógeno desde la soya al maíz, donde la transferencia se efectuó por conducto de conexiones micorrizales entre las dos especies (van Kesse *et al.*, 1985). En nuestro experimento, la radiación adicional interceptada por el sistema de cultivo intercalado presumiblemente proporcionó suficientes asimilados para sostener la fijación simbiótica de N hasta un nivel muy superior a 200 kg de N/ha (Cuadro 4). A diferencia de los estudios anteriores (Willey y Reddy, 1981), no hubo pruebas directas de una transferencia de nitrógeno de la leguminosa al cereal. Si esto sucedió, probablemente fue encubierto por los efectos de sombra de la leguminosa.

Sin realizar otro experimento a más largo plazo, no es posible aseverar que un cultivo de trigo intercalado con leguminosas sería más productivo que una rotación trigo-leguminosa más tradicional. De hecho, la cuestión no es tan simple ya que: 1) en general para cultivar el cereal se usa una superficie mayor que la requerida por las leguminosas en los ambientes objetivo, y 2) las rotaciones en las zonas marginales tienden a ser muy complejas. En los países andinos, por ejemplo, las rotaciones pueden incluir maíz, papas, otras hortalizas y hierbas aparte de la cebada y las leguminosas (Weismantel, 1992). Además, prescindiendo de la cuestión de la productividad, los cultivos intercalados producen otros beneficios, como reducir la tasa de propagación de las plagas de insectos y algunas enfermedades (Trenbath, 1976). Dado que las enfermedades foliares, como la escaldadura y la mancha reticular, son problemas frecuentes de la cebada en muchos ambientes marginales, los cultivos intercalados podrían brindar cierta protección al proporcionar una barrera física para el movimiento de las esporas por las salpicaduras de la lluvia. El control de la maleza es otro posible beneficio de los cultivos intercalados (Gliessman, 1986; White y Scott, 1991). En nuestros estudios, si bien no se tomaron datos oficiales al respecto, fue claro que la mayor cobertura del suelo producida al inicio del ciclo por los sistemas de cultivos intercalados, en especial con la vicia y el trébol, contribuyó mucho a suprimir una gran diversidad de especies de malezas. Incidentalmente, si bien la cuestión de la eficiencia del uso del agua en los cultivos intercalados es importante en relación con la extrapolación de resultados, no se la aborda en este informe porque los ambientes objetivo inmediatos para este tipo de sistema suelen tener una precipitación de más de 500 mm al año.

Las tierras agrícolas marginales constituyen un lógico ambiente objetivo para este tipo de sistema de cultivo por tres razones:

- Los cereales, en especial la cebada, son un alimento básico;
- los agricultores de esas zonas en general tienen pocos recursos y un acceso limitado al fertilizante de N inorgánico y, por lo tanto, es probable que un sistema que utiliza la fijación de N atmosférico, mejore la productividad total; y
- muchos de esos ambientes son susceptibles a la erosión y la degradación del suelo.

Se puede combatir en cierta medida la erosión mejorando la cobertura espacial y temporal del suelo con un cultivo, protegiendo así el suelo. Las mayores cantidades de materia orgánica también pueden estabilizar los suelos al mejorar sus propiedades físicas y las tasas de infiltración del agua (Brady, 1974). En nuestros experimentos, el sistema de cultivos intercalados de leguminosas y cereales no sólo mejoró la cubierta del suelo, como lo indican los valores de la interceptación de la luz (Cuadros 4 y 5), sino que también elevó la productividad

total del cultivo significativamente, permitiendo en potencia una mayor restitución de materia orgánica al suelo en forma de una mayor cantidad de rastrojo o, posiblemente, de excremento animal en una etapa posterior (Cornick y Kirby, 1981). Además, se incrementó la producción total de nitrógeno del sistema, un aspecto importante de la sostenibilidad en un sistema carente de nitrógeno.

Si bien los cultivos intercalados son en la actualidad de gran interés para los ambientes marginales, el potencial del cultivo intercalado de cereales y leguminosas también ha sido comprobado en ambientes de alto rendimiento como el Reino Unido (Martin y Snaydon, 1982; Jones y Clements, 1993) y los Estados Unidos (Singh, 1983; Tomar *et al.*, 1988; Izaurralde *et al.*, 1990; Grubinger y Minotti, 1990). En nuestro primer experimento, se comprobó que se lograba un rendimiento de trigo de más de 4 t/ha, sin efecto negativo por las leguminosas intercaladas. Este rendimiento es más alto que el rendimiento promedio de trigo de primavera en el mundo en desarrollo y revela que los cultivos intercalados pueden proporcionar a los suelos un cultivo restaurador de abono verde sin retirar de la producción los cultivos principales. En particular, el empleo de surcos alternados es un sistema de cultivos intercalados muy apto para el manejo mecanizado (Ofori y Stern, 1987). Esos sistemas permiten al cultivo intercalado utilizar los recursos disponibles de luz, nutrimentos y, posiblemente, agua, en etapas del desarrollo en que esos recursos no son un factor limitante para el cultivo principal (Trenbath, 1976; Gliessman, 1986). Nuestro mayor conocimiento y subsiguiente explotación de esas interacciones en las asociaciones de plantas son tal vez requisitos importantes para satisfacer la creciente demanda de productos agrícolas en el mundo, sin provocar una mayor erosión de los recursos naturales.

Resumen

Para preservar nuestra base de recursos naturales a nivel mundial, se deben efectuar investigaciones agrícolas que integren principios ecológicos y agronómicos, con el propósito de satisfacer las necesidades de alimentos del mundo en desarrollo. En este informe se describe un sistema modelo de cultivo que eleva la productividad y aumenta los aportes de materia orgánica y nitrógeno al suelo en regiones de temporal donde los agricultores tienen acceso limitado a insumos externos. El trabajo se llevó a cabo en dos ambientes de cultivo de trigo en México, entre 1989 y 1992. Se sembraron leguminosas que fijan nitrógeno entre surcos de trigo o cebada sembrados con bajos niveles de nitrógeno en el suelo. Ninguna de las leguminosas ensayadas redujo los rendimientos del cereal en comparación con las parcelas testigo, donde los rendimientos del cereal fueron de 1 a 4 t/ha, mientras que la biomasa total adicional aportada por las leguminosas en ciertos casos más que duplicó la productividad. Se ensayaron distintas leguminosas para demostrar la

adaptabilidad del sistema a las diferentes necesidades de los agricultores. Las leguminosas intercaladas alcanzaron rendimientos de biomasa seca de hasta 6.5 t/ha en el caso de vicia vellosa cosechada en forma secuencial como forraje, o de 1.4 t/ha de granos secos más 3.5 t/ha de residuos verdes en el caso de *V. faba*. La biomasa total en las parcelas de cultivos intercalados dio usos equivalentes de la tierra de hasta 1.54. Las mediciones de la luz dentro del follaje del cultivo indicaron que los sistemas intercalados interceptaban una proporción de la radiación solar incidente mayor que la observada en el cereal en monocultivo, lo que posiblemente explique las grandes diferencias en la biomasa total producida. Además, dado que los niveles de nitrógeno foliar fueron de 3.8%, se supone que las leguminosas intercaladas fijaron considerablemente más nitrógeno que el que fue tomado por el cultivo de trigo. Se examina el potencial del sistema para estabilizar los suelos frágiles aumentando la cobertura del suelo y elevando los aportes de materia orgánica.

Referencias

- AACC. 1983. Methods 46-10 & 46-11 in: Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. AACC, 7th edition, St Paul, Minnesota.
- Brady, N.C. 1976. The Nature and Properties of Soils. 8th Edition. New York: MacMillan Publishing Co., Inc. New York.
- Byerlee, D. y J. Longmire. 1986. Comparative advantage and policy incentives for wheat production in rainfed and irrigated area of Mexico. CIMMYT Economics Working Paper No. 01/86.
- Cornick, T.R. y R.A. Kirby. 1981. Interaction of crops and livestock production in the generation of technology in sloped areas. Ithaca, N.Y.: Publication of New York State College of Agriculture of Life Science. Cornell University.
- Danso, S.K.A. y I. Papastylianou. 1992. Evaluation of the nitrogen contribution of legumes subsequent cereals. Cambridge: Journal of Agricultural Science 119:3-18.
- Gliessman, S.R. 1986. Plant interactions in multiple cropping systems. In pages 82-95, C.A. Francis, ed., Multiple Cropping Systems, Chapter 5.
- Grubinger, V.P. y P.L. Minotti. 1990. Managing white clover living mulch for sweet corn production with partial rototilling. American Journal of Alternative Agriculture 5(1), 4-12.
- Izaurrealde, R.C., N.G. Juma y W.B. McGill. 1990. Plant and nitrogen yield of barley-field pea intercrop in cryoboreal-subhumid Central Alberta. Agronomy Journal 82:295-301.
- Jones, L. y R.O. Clements. 1993. Development of a low input system for growing wheat (*Triticum vulgare*) in a permanent understory of white clover (*Trifolium repens*). Annals of Applied Biology (in press).
- Langdale, G.W., R.L. Clark y R.R. Bruce. 1992. The role of legumes in sustaining soil productivity and controlling soil erosion. In K. Mulongoy, M. Gueye and D.S.C. Spencer, eds., Biological Nitrogen Fixation and Sustainability in Tropical Agriculture. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Martin, M.P.L.D. y R.W. Snaydon. 1982. Intercropping barley and beans. I. Effects of planting pattern. Expl. Agric. 18:139-148.
- Ofori, F. y W.R. Stern. 1987. Cereal-legume intercropping systems. Advances in Agronomy 41:41-90.
- Papadakis, J.S. 1941. Small grains and winter legumes grown mixed for grain production. J. Am. Soc. Agron. 33:504-511.
- Reddy, M.S. y R.W. Willey. 1981. Growth and resource use studies in an intercrop of pearl millet/grounded. FCR 4:13-24.
- Singh, S.P. 1983. Summer legume intercrop effects on yield and nitrogen economy of wheat in the succeeding season. J. Agric. Sci., Camb. 101:401-405.
- Sivakumar, V.K. y S.M. Virmani. 1980. Growth and resource use of maize pigeon pea and maize pigeon pea intercrop in an operational research watershed. Expl. Agric. 16:377-386.

