

EL SISTEMA MAÍZ-LEGUMINOSA-FRIJOL Y LA FERTILIZACIÓN MINERAL EN TERRAZAS DE MURO VIVO ¹

Néstor, F. Nicolás², Sergio Uribe², Ernesto López², René Camacho², Antonio Turrent²

RESUMEN

El sistema maíz-leguminosa-frijol y la fertilización mineral en terrazas de muro vivo. Con el objetivo de desarrollar un sistema de manejo agronómico sostenible para el agrosistema de laderas con el patrón tradicional de cultivos maíz-frijol, se realizó una investigación durante tres años, en dos localidades en el sur de Veracruz, México. El experimento consistió en la siembra de maíz en verano, intercalado con dos leguminosas de cobertura, en relevo con frijol en otoño. Se utilizó un diseño de parcelas divididas, con tres tratamientos de parcela grande (leguminosas) y seis tratamientos de parcela chica (niveles de fertilización), en bloques completos al azar con tres repeticiones. Se encontró que *Mucuna* superó significativamente a *Canavalia* en producción de biomasa aérea, implicando mayor aporte nutrimental por cobertura de *Mucuna*. La producción de biomasa aérea de malezas asociada a tratamientos con leguminosas, representó 52 % respecto al testigo. En rendimiento de grano de maíz no se encontró diferencia significativa entre tratamientos de parcela grande, significando que las leguminosas no compitieron con el cultivo. En frijol, el mejor rendimiento de grano se asoció a la interacción del tratamiento con *Mucuna* y la dosis 30 kg/ha de N y 30 kg/ha P₂O₅. Se concluyó que *Mucuna* disminuyó la incidencia de malezas, aportó nutrimentos y favoreció el aprovechamiento de la fertilización mineral en frijol.

ABSTRACT

Abstract. With the aim of developing a sustainable agronomic management for the hillside agro-system that includes traditional crops maize and beans, a research was carried out from 1996 to 1998 at two locations in the South of Veracruz, Mexico. The experiment included planting of maize intercropped with two cover crop legumes (*Mucuna* and *Canavalia*) during the summer and planting Common Bean cv. Negro INIFAP in the fall. A completely randomized design arranged as split plot was utilized, with the cover legumes as main plots and six fertilizer treatments as small plots. In biomass production *Mucuna* was significantly superior to *Canavalia* and thus as nutrimental source. Weed biomass production was 52% lower in the treatments with the cover legumes as compared to the sole maize crop. No difference was found for maize seed yield among main treatments, indicating that the cover crops did not affect maize yield. In common bean the highest yield was obtained in the *Mucuna* and fertilization dose of 30 kg/ha N and 30 kg/ha P₂O₅. In conclusion *Mucuna* was the best cover crop in biomass production, reducing weed competition and favored mineral nutrition in Common Bean.



INTRODUCCIÓN

En el estado de Veracruz, México, se siembran alrededor de 515 000 ha de maíz de temporal durante el ciclo primavera-verano (P-V) y 34 000 ha de frijol de humedad residual en el ciclo otoño-invierno (O-I), que representan 7 % y 7,9 % de la superficie nacional, respectivamente. Específicamente en la región de Los Tuxtlas, la superficie sembrada asciende a 71 500 ha de

maíz de P-V y 3 800 ha de frijol de O-I, que representan 13,9 % y 11,2 % de la superficie estatal, respectivamente. El rendimiento estatal de maíz de P-V es alrededor de 1,64 t/ha⁻¹ y el de frijol de O-I de 0,61 t/ha⁻¹, superior en 30 % e inferior en 36 % al promedio nacional, respectivamente. En los Tuxtlas los rendimientos son de 1,88 y 0,64 t/ha⁻¹ para los cultivos de maíz y frijol, respectivamente.

¹ Este trabajo es resultado del proyecto "Desarrollo del cultivo de frijol en sistemas de producción sostenibles", financiado por COSUDE-PROFRIJOL, durante 1996 a 1999.

² INIFAP. Apdo. Postal #96. San Andrés Tuxtla, Veracruz, México. Fax (294) 2 03 96.

En Los Tuxtlas, aproximadamente 70 % de la producción de maíz y frijol se obtiene en terrenos de ladera, por pequeños agricultores. Este agrosistema se caracteriza por tener suelos delgados, con baja fertilidad y poca capacidad de retención de humedad residual, causados por la erosión hídrica. Además de las lluvias torrenciales y las fuertes pendientes, el proceso erosivo también se favorece por las prácticas tradicionales de manejo del suelo, tales como la quema, el laboreo del suelo en el sentido de la pendiente, la siembra de los cultivos en hileras de acuerdo con la pendiente y las bajas densidades de población.

El problema principal que ha generado la erosión hídrica es la pérdida de productividad de los cultivos, traducida en rendimientos muy bajos. A partir de 1990, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en coordinación con otras instituciones del sector agropecuario, inició la transferencia de la tecnología de Terrazas de Muro Vivo para la conservación del suelo y del agua (Turrent *et al.*, 1995). No obstante, el patrón tradicional maíz-frijol presenta un manejo agronómico inadecuado, caracterizado por bajo uso de variedades mejoradas, bajas densidades de siembra y desconocimiento del buen uso de agroquímicos y métodos para el control de malezas, de plagas del suelo, del follaje y almacén. Asimismo, la fertilización se aplica en dosis insuficientes e inoportunas; es decir, que se practica una agricultura de bajos insumos, con graves deficiencias nutrimentales de los cultivos.

Una estrategia para satisfacer las necesidades nutrimentales o para disminuir los requerimientos de fertilización mineral en el patrón maíz-frijol es el uso de leguminosas de cobertura, las cuales tienen otras ventajas. Milton (1989) menciona que las leguminosas son fuente barata de nitrógeno, protegen al suelo de la erosión, enriquecen al suelo con materia orgánica, controlan malezas y rehabilitan tierras degradadas. De acuerdo con Smyth *et al.* (1991), la mayor parte del nitrógeno aportado por la leguminosa, proviene de la biomasa aérea y para su mineralización no se requiere incorporarla.

La asociación maíz-*Mucuna* sembrada al mismo tiempo no es recomendable porque compite con el maíz. La tendencia en rendimiento, indica que el mejor intervalo de asociación es de 40 a 90 días, donde los tratamientos maíz monocultivo fertilizado y la asociación con *Mucuna* a los 40, 60 y 90 días resultaron similares Quiroga (1996). El mismo autor indica que, después de tres ciclos de asociación maíz-*Canavalia* resultó la mejor opción para suelos degradados, clima irregular, en combinación con labranza cero y sin quema de residuos.

En Honduras se encontró que la producción de maíz asociada con *Mucuna* presentó un rendimiento de 2,5 t/ha⁻¹ sin fertilización mineral, mientras que en el sistema tradicional se obtuvieron 0,60 t/ha⁻¹ (Milton, 1989). Por su parte Bunch (1990) observó que el maíz incrementó su rendimiento en 1,7 t/ha⁻¹, con el uso de *Mucuna*.

El objetivo del presente estudio fue desarrollar un sistema de manejo agronómico pro-sostenible para el agrosistema de laderas con el patrón tradicional de cultivos de maíz de primavera-verano en relevo con frijol de otoño-invierno, manteniendo la característica de bajos insumos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó durante tres años agrícolas, 1996-97 a 1998-99, en la región de Los Tuxtlas, en el Sur de Veracruz, México. En dos comunidades del municipio de San Andrés Tuxtla, en un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (AW₂).

En ambos sitios se condujo un experimento de maíz de primavera-verano, intercalado con leguminosas de cobertura, en relevo con frijol de otoño-invierno. La variedad de maíz utilizada fue VS-536 y la de frijol fue Negro INIFAP. Se utilizó un diseño de parcelas divididas, estudiando tres tratamientos de parcela grande: T1= maíz sin leguminosa (testigo), T2= maíz con *Canavalia* sp. y T3= maíz con *Mucuna* sp. Se evaluaron seis tratamientos de parcela chica, los cuales consistieron en diferentes niveles de fertilización (NF): NF1=50-60/00-00, NF2=50-60/00-30, NF3=50-60/30-30, NF4=100-60/00-00, NF5=100-60/00-30, y NF6=100-60/30-30, kg/ha⁻¹ de N y P₂O₅ aplicados a los cultivos de maíz y frijol, respectivamente. El diseño experimental fue el de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Las parcelas chicas fueron de cinco metros de longitud por un ancho variable, que dependió de la distancia entre setos de las terrazas.

El intercalado de leguminosas en el cultivo de maíz fue a los 25 días después de la siembra, mientras que la evaluación de biomasa aérea y subterránea de leguminosas, maíz y malezas fue a los 85 días después de la siembra de leguminosas. Se realizó un análisis combinado de varianza, incluyendo tres años, dos sitios, tres repeticiones, tres tratamientos de parcela grande y sólo dos tratamientos de parcela chica (NF1 y NF6).

Durante el segundo y tercer ciclo con leguminosas se evaluaron los cambios en propiedades químicas del

suelo, para lo cual se realizó un muestreo compuesto de la capa arable del suelo (cero a 20 cm), en las condiciones extremas de parcela chica.

Durante los ciclos O-I/97-98 y 98-99 en la etapa de inicio de floración-formación de vainas del frijol, se efectuó una evaluación de número de nódulos, peso fresco de nódulos, peso seco de biomasa aérea y peso seco de biomasa subterránea por mata de frijol. El análisis combinado de varianza incluyó dos años, dos sitios, dos repeticiones, tres tratamientos de parcela grande, dos tratamientos de parcela chica y cuatro matas.

En la cosecha se estimaron los rendimientos de grano de maíz y frijol, asimismo se estimó la biomasa aérea en frijol. Las parcelas útiles consistieron de tres surcos de maíz y cuatro de frijol por cinco metros de longitud. En el análisis combinado de varianza se incluyeron tres años, dos sitios, tres repeticiones, tres tratamientos de parcela grande y los seis tratamientos de parcela chica. Los efectos de años, sitios, tratamientos de parcela grande y sus interacciones se probaron con un error "a", integrado por los grados de libertad (g.l.) de repeticiones y su interacción con esos efectos (36 g.l.). En cambio los efectos de tratamientos de parcela chica y las interacciones respectivas con años, sitios y tratamientos de parcela grande; se probaron con un error "b", compuesto por los grados de libertad de las interacciones de esos efectos con repeticiones (180 g.l.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan y analizan resultados obtenidos durante tres años agrícolas, en el patrón maíz-leguminosa-frijol en dos sitios experimentales. Las variables que se analizan son las siguientes: 1) producción de biomasa aérea y subterránea de leguminosas, maíz y malezas; 2) cambios en propiedades químicas del suelo; 3) número de nódulos, peso fresco de nódulos, biomasa aérea y subterránea por mata de frijol; 4) rendimientos de grano de maíz; y 5) rendimientos de biomasa aérea y de grano de frijol.

La producción de biomasa aérea y subterránea de leguminosas, maíz y malezas se presenta en los Cuadros 1 y 2, respectivamente. En primer lugar, se aprecia que entre los niveles extremos de fertilización no se encontró diferencia estadística significativa en ninguna de ambas variables, en las tres especies evaluadas. Sin embargo, de acuerdo a las tendencias, esta respuesta significa que se requeriría una fertilización mayor que 100-60 kg/ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente, para tener mayor producción de biomasa de maíz; pero con mayor disponibilidad de nutrientes las leguminosas disminuirían la fijación biológica de nitrógeno y las malezas competirían por fertilizante con el cultivo.

En promedio se encontró que *Mucuna* superó significativamente con 468 kg/ha⁻¹ a *Canavalia* en

Cuadro 1. Producción de biomasa aérea de leguminosas, maíz y malezas asociada a la interacción de tratamientos de parcela grande (T) x tratamientos de parcela chica (NF). Veracruz, México. 1998-99.

Tratamiento	Materia seca (kg ha ⁻¹) ^{1/}		
	NF1:50-60/00-00 ^{2/}	NF6: 100-60/30-30	Promedio
Leguminosas			
T2: <i>Canavalia</i>	1478 (519) ^{3/}	1434	1456 (316) ^{4/}
T3: <i>Mucuna</i>	2032	1816	1924
Promedio	1755 (275) ^{5/}	1625	
Maíz			
T1: Testigo	4667 (1145) ^{3/}	4495	4581 (1083) ^{4/}
T2: <i>Canavalia</i>	4570	5165	4868
T3: <i>Mucuna</i>	4469	5011	4740
Promedio	4569 (445) ^{5/}	4890	
Malezas			
T1: Testigo	1526 (466) ^{3/}	1692	1609 (287) ^{4/}
T2: <i>Canavalia</i>	795	937	866
T3: <i>Mucuna</i>	754	867	810
Promedio	1025 (181) ^{5/}	1165	

¹ Promedio de tres años, dos sitios y tres repeticiones.

² Dosis de nitrógeno y fósforo en kg/ha⁻¹, aplicadas a los cultivos de maíz y frijol, respectivamente.

³ Diferencia mínima significativa (DMS), para TxNF con P=0,05

⁴ DMS para tratamientos de parcela grande con P=0,05

⁵ DMS para nivel de fertilización (NF) con P=0,05

Cuadro 2. Producción de biomasa subterránea de leguminosas, maíz y malezas asociada a la interacción de tratamientos de parcela grande (T) x tratamientos de parcela chica (NF). Veracruz, México. 1998-99.

Tratamiento	Materia seca (kg/ha ⁻¹) ^{1/}		
	NF1: 50-60/00-00 ^{2/}	NF6: 100-60/30-30	Promedio
Leguminosas			
T2: Canavalia	140 (54) ^{3/}	121	130 (33) ^{4/}
T3: Mucuna	72	104	88
Promedio	106 (29) ^{5/}	112	
Maíz			
T1: Testigo	514 (199) ^{3/}	535	524 (147) ^{4/}
T2: Canavalia	565	614	590
T3: Mucuna	512	549	531
Promedio	530 (78) ^{5/}	566	
Malezas			
T1: Testigo	165 (72) ^{3/}	205	185 (40) ^{4/}
T2: Canavalia	107	116	112
T3: Mucuna	62	52	57
Promedio	111 (28) ^{5/}	124	

¹ Promedio de tres años, dos sitios y tres repeticiones.

² Dosis de nitrógeno y fósforo en kg/ha⁻¹, aplicadas a los cultivos de maíz y frijol, respectivamente.

³ Diferencia mínima significativa (DMS), para TxNF con P=0,05.

⁴ DMS para tratamientos de parcela grande con P=0,05.

⁵ DMS para nivel de fertilización (NF) con P=0,05.

producción de biomasa aérea (Cuadro 1), tendencia que se confirma en la interacción tratamientos de parcela grande x tratamientos de parcela chica (TxNF), donde en ambos niveles de fertilización *Mucuna* superó a *Canavalia*. Se observó lo contrario para biomasa subterránea (Cuadro 2), donde *Canavalia* superó con diferencia estadística significativa a *Mucuna*, tal vez por la condición leñosa y mayor diámetro de las raíces de *Canavalia*; este comportamiento es consistente con la interacción TxNF, ya que en ambos niveles de fertilización *Canavalia* tuvo mejor respuesta que *Mucuna*.

No obstante, se considera que con la cobertura de *Mucuna* se tiene mayor aporte nutrimental y mejor conservación de la humedad residual. En términos generales, los rendimientos de biomasa aérea son bajos (Triomphe, 1995), lo cual principalmente se asocia a que las leguminosas no completaron su desarrollo, debido a que se tenía que sembrar el cultivo de frijol.

Respecto a biomasa aérea y subterránea de maíz (Cuadros 1 y 2) no se encontró diferencia estadística significativa en el efecto principal de tratamientos de parcela grande, ni en la interacción TxNF; significando que las leguminosas permiten un buen desarrollo del cultivo de maíz, sin hacerle competencia (Quiroga,

1996); lo cual es favorable para aprovechar las múltiples ventajas de las leguminosas.

Se aprecia claramente (Cuadros 1 y 2), que para biomasa aérea y subterránea de malezas, el efecto de tratamientos de parcela grande es altamente significativo. Los tratamientos con leguminosas presentaron una baja producción de biomasa de malezas, con diferencia significativa respecto al testigo. Esta respuesta es clara al analizar la interacción TxNF, donde el testigo en ambos niveles de fertilización presentó alta producción de biomasa de malezas; aunque las diferencias más contundentes se observaron en la producción de biomasa aérea. En promedio, la producción de biomasa aérea de malezas asociada a los tratamientos con leguminosas, representó 52 % respecto al testigo. En general, ambas leguminosas fueron eficientes para disminuir la proliferación de malezas (Milton, 1989); por lo que se pueden utilizar como método biológico para el control de malezas.

Los cambios en propiedades químicas del suelo se presentan en el Cuadro 3. Se aprecia que los cambios ocurridos fueron pequeños, con variación entre años. En cuanto a materia orgánica se observa que los valores fueron mayores después de dos ciclos de desarrollo de las leguminosas en los tres tratamientos; cuando era

de esperarse un mayor contenido al tercer año, sobre todo en los tratamientos con leguminosas. Sin embargo, es claro que en ambos años *Mucuna* contribuyó en el aumento del contenido de materia orgánica del suelo, aunque también se asoció con una ligera disminución del pH.

Respecto a carbono orgánico soluble se encontró que el tratamiento con *Mucuna* presentó los valores más altos en ambos años, esto indica que la tasa de mineralización de la materia orgánica (MO) de *Mucuna* fue mayor respecto al tratamiento con *Canavalia* y el testigo. La menor mineralización de la MO del tratamiento con *Canavalia* y el testigo se asocia a la mayor relación C/N y lignina/N, lo que implica que la MO de *Mucuna* es de mejor calidad.

La amplia variación que existe entre años en el contenido de fósforo, tal vez se asocie a la fertilización aplicada al cultivo de maíz. No obstante, se encontró que *Mucuna* aumentó ligeramente el contenido de fósforo en el suelo. La acidez intercambiable tendió a disminuir en el segundo año y a incrementar en el tercer año con el efecto de las leguminosas, pero no tiene correlación con alguna de las otras propiedades; por lo que se considera que no es una buena variable indicadora.

Los contenidos de potasio y calcio fueron menores en el tercer año, respecto al segundo año en los tres tratamientos. En ambos años los tratamientos con leguminosas tendieron a disminuir el contenido de potasio en el suelo, asociándose el menor contenido al tratamiento con *Mucuna*, esta tendencia implica que tal vez las leguminosas presentan una demanda de potasio para su desarrollo. En cambio se aprecia que aportan calcio y magnesio (Cuadro 3).

El número de nódulos, peso fresco de nódulos, peso seco de biomasa aérea y subterránea por mata de frijol, se presentan en los Cuadros 4 y 5. En primer término, se aprecia (Cuadro 4) que para número de nódulos y peso fresco de nódulos ningún efecto resultó significativo. Es decir que, la nodulación en el cultivo de frijol se presenta de manera similar, con ausencia o presencia de la cobertura de leguminosas; asimismo, se tiene la misma nodulación, cuando no se fertiliza el frijol que cuando se fertiliza con una dosis baja.

En cambio, en peso seco de biomasa aérea y subterránea resultaron significativos los efectos de tratamientos de parcela grande, tratamientos de parcela chica y su interacción (Cuadro 5). Se aprecia que el tratamiento con *Mucuna* se asoció con el mayor peso seco de biomasa aérea y subterránea, con diferencia significativa respecto al tratamiento con *Canavalia* y al testigo.

Asimismo, se observa que la fertilización al cultivo de frijol presentó respuesta significativa, tanto en biomasa aérea como en subterránea. La significancia de la interacción TxNF, hace consistente la respuesta encontrada para los efectos principales de tratamiento de parcela grande y chica. En esta interacción se vislumbra que *Mucuna* favoreció las condiciones del suelo para que el cultivo de frijol tuviera un buen desarrollo de tallos y follaje, independientemente de la fertilización. En cambio, el desarrollo radicular es estimulado en mayor grado por la fertilización al cultivo. Esto implica que para un buen desarrollo del cultivo de frijol en el agrosistema de laderas, es necesaria la cobertura de *Mucuna* y la fertilización mineral al suelo.

Los rendimientos de grano de maíz se muestran en el Cuadro 6, donde es notorio que resultaron sin

Cuadro 3. Cambios en propiedades químicas del suelo^{1/} asociados a tratamientos de parcela grande.

Tratamiento	Año	PH	MO %	CO sol. Absorv.	P Ppm	Acidez Interc.	K Ca Mg Na			
							meq/100g			
T1: Testigo	1997 ^{2/}	6,4	3,6	0,126	26,1	0,10	0,94	19,2	14,0	0,09
	1998 ^{3/}	6,4	3,3	0,161	40,4	0,12	0,84	16,4	16,5	0,16
T2: <i>Canavalia</i>	1997	6,4	3,7	0,131	25,4	0,07	0,90	19,2	14,4	0,15
	1998	6,3	3,3	0,156	41,1	0,17	0,74	16,6	15,6	0,14
T3: <i>Mucuna</i>	1997	6,3	4,1	0,138	29,7	0,06	0,83	19,5	16,3	0,13
	1998	6,3	3,6	0,177	45,0	0,16	0,72	17,1	16,8	0,15

¹ pH en agua relación 1:2, MO Walkley-Black, CO soluble Fox y Piekielek, P Olsen, Acidez intercambiable KCl 1 N, K, Ca, Mg y Na acetato de amonio 1N pH 7.

^{2,3} Resultados de análisis de suelos después de dosy tres ciclos de desarrollo de las leguminosas, respectivamente. Promedio de dos sitios, dos niveles de fertilización y tres repeticiones.

Cuadro 4. Número de nódulos y peso fresco de nódulos por mata de frijol asociados a la interacción tratamientos de parcela grande (T) x tratamientos de parcela chica (NF).

Tratamiento	Nivel de fertilización ^{2/}		Promedio
	NF1: 50-60/00-00	NF6: 100-60/30-30	
Número de nódulos ^{3/}			
T1: Testigo	102 (52) ^{4/}	113	108 (45) ^{5/}
T2: <i>Canavalia</i>	84	85	84
T3: <i>Mucuna</i>	112	109	111
Promedio	99 (20) ^{6/}	103	
Peso fresco de nódulos (g) ^{3/}			
T1: Testigo	0.53 (0,29) ^{4/}	0.54	0.53 (0.24) ^{5/}
T2: <i>Canavalia</i>	0.40	0.39	0.40
T3: <i>Mucuna</i>	0.60	0.42	0.51
Promedio	0,51 (0,11) ^{6/}	0.45	

¹ En promedio se tuvieron 2.6 plantas mata⁻¹.

² Dosis de nitrógeno y fósforo en kg/ha⁻¹, aplicadas a los cultivos de maíz y frijol, respectivamente.

³ Promedio de dos años, dos sitios, dos repeticiones y cuatro matas.

⁴ Diferencia mínima significativa (DMS), para TxNF con P=0,05.

⁵ DMS para tratamientos de parcela grande con P=0,05.

⁶ DMS para nivel de fertilización (NF) con P=0,05.

Cuadro 5. Peso seco de biomasa aérea y subterránea por mata¹ de frijol asociados a la interacción tratamientos de parcela grande (T) x tratamientos de parcela chica (NF).

Tratamiento	Materia seca (g) ^{2/}		Promedio
	NF1: 50-60/00-003/	NF6: 100-60/30-30	
Biomasa aérea			
T1: Testigo	9,59 (4,13) ^{4/}	12,94	11,26 (2,83) ^{5/}
T2: <i>Canavalia</i>	9,86	11,71	10,78
T3: <i>Mucuna</i>	14,12	14,91	14,51
Promedio	11,19 (1,55) ^{6/}	13,18	
Biomasa subterránea			
T1: Testigo	1,14 (0,52) ^{4/}	1,67	1,41 (0,29) ^{5/}
T2: <i>Canavalia</i>	1,23	1,46	1,35
T3: <i>Mucuna</i>	1,51	1,77	1,64
Promedio	1,30 (0,19) ^{6/}	1,64	

¹ En promedio se tuvieron 2.6 plantas mata⁻¹.

² Promedio de dos años, dos sitios, dos repeticiones y cuatro matas.

³ Dosis de nitrógeno y fósforo en kg/ha⁻¹, aplicadas a los cultivos de maíz y frijol, respectivamente.

⁴ Diferencia mínima significativa (DMS), para TxNF con P=0.05.

⁵ DMS para tratamientos de parcela grande con P=0.05.

⁶ DMS para nivel de fertilización (NF) con P=0.05.

diferencia significativa los efectos de tratamientos de parcela grande, parcela chica y su interacción. La respuesta a tratamientos de parcela grande fue similar a la encontrada para biomasa aérea y subterránea de maíz (Cuadros 1 y 2) y confirma que de acuerdo al grado de desarrollo que alcanzaron las leguminosas, no fueron competitivas con el cultivo de maíz (Quiroga, 1996).

Por otra parte, la respuesta similar entre dosis de fertilización, sugiere que para obtener rendimientos de grano de maíz en el agrosistema de laderas de 3.4 t/ha⁻¹ es suficiente fertilizar con la dosis 50-60; mientras que para metas mayores de rendimiento, tal vez sea necesario aumentar la dosis de fertilización mayor que 100-60 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente. Otra alternativa

de mediano plazo sería mejorar la fertilidad del suelo, con la siembra de leguminosas por varios años.

Por último, en el Cuadro 7 se exponen los rendimientos de biomasa aérea y de grano de frijol. En primer lugar, cabe aclarar que los bajos rendimientos de frijol están asociados al poco potencial de las laderas para la producción, a la fecha de siembra tardía y a escasez de humedad en la etapa de floración – formación de vainas. Esta etapa fenológica se presentó en el mes de diciembre. En promedio para ambos sitios, en diciembre de 1996 llovieron 35 mm, en diciembre de 1997 sólo 2 mm y en diciembre de 1998 6,4 mm. No obstante, se encontró una tendencia clara al efecto de tratamientos de parcela grande, en promedio la mejor respuesta del frijol se asoció al tratamiento con *Mucuna*; pero sólo con diferencia significativa en rendimientos de grano. Esta respuesta se atribuye a la humedad que conservó la leguminosa, a la baja proliferación de malezas que permitió y a la mineralización del follaje, que en pequeña escala aportó nutrimentos.

Respecto al efecto de tratamientos de parcela chica (NF), se encontró que en promedio el mejor rendimiento de biomasa aérea y de grano de frijol se asoció a la dosis 30-30 (NF3 y NF6). Resalta que el efecto más claro se obtuvo en rendimiento de grano, donde la dosis 30-30 superó con diferencia significativa a las dosis 00-00 (NF1 y NF4) y 00-30 (NF2 y NF5) kg/ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente (Cuadro 7).

Al analizar la interacción TxNF se observa que para biomasa aérea el tratamiento con *Mucuna* y el testigo no presentaron diferencias significativas entre dosis

de fertilización, en cambio en el tratamiento con *Canavalia* la mejor respuesta se asoció a la dosis de fertilización 30-30 (NF3 y NF6). Esto significa que la variable biomasa aérea no es buena indicadora para analizar la interacción TxNF. La mejor variable la constituye el rendimiento de grano. Se observa (Cuadro 7) que en los tres tratamientos de parcela grande la mejor respuesta en grano de frijol, se asoció a la dosis 30-30 kg/ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente.

Sin embargo, es claro que el tratamiento con *Mucuna* tuvo el mayor rendimiento de grano en los diferentes niveles de fertilización; pero sólo superó al testigo con diferencia significativa en los niveles con dosis baja de fertilización al maíz.

En el mismo Cuadro 7, resalta que el mejor rendimiento de grano de frijol se asoció a la interacción del tratamiento con *Mucuna* con la dosis de fertilización 30-30 kg/ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente; con diferencia significativa respecto al testigo. La significancia de esta interacción indica que la cobertura de *Mucuna* favoreció las condiciones del suelo para el mejor aprovechamiento de la fertilización mineral. Estas condiciones fueron: disminución de la incidencia de malezas, mejor conservación de la humedad residual y aporte de nutrimentos por la mineralización de la cobertura (Milton, 1989 y Smyth *et al.*, 1991). Esto implica que para sostener la producción de frijol, es necesario aprovechar las ventajas que proporciona la *Mucuna* en el corto plazo y la respuesta rápida de los fertilizantes, mientras que la leguminosa mejora la fertilidad y la estructura del suelo a mediano plazo.

Cuadro 6. Rendimientos de grano de maíz asociados a la interacción tratamientos de parcela grande (T) x tratamientos de parcela chica (NF).

Nivel de Fertilización ^{1/}	Rendimientos al 14% de humedad (t/ha ⁻¹) ^{2/}			
	T1: Testigo	T2: <i>Canavalia</i>	T3: <i>Mucuna</i>	Promedio
NF1: 50-60/00-00	3,29 (0,58) ^{3/}	3,66	3,27	3,40 (0,28) ^{4/}
NF2: 50-60/00-30	3,20	3,35	3,31	3,29
NF3: 50-60/30-30	3,15	3,43	3,45	3,34
NF4: 100-60/00-00	3,41	3,54	3,52	3,49
NF5: 100-60/00-30	3,41	3,49	3,46	3,45
NF6: 100-60/30-30	3,39	3,76	3,23	3,46
Promedio	3,31 (0,30) ^{5/}	3,54	3,37	

¹ Dosis de nitrógeno y fósforo en kg/ha⁻¹, aplicadas a los cultivos de maíz y frijol, respectivamente.

² Promedio de tres años, dos sitios y tres repeticiones.

³ Diferencia mínima significativa (DMS), para TxNF con P=0,05.

⁴ DMS para nivel de fertilización (NF) con P=0,05.

⁵ DMS para tratamientos de parcela grande con P=0,05.

Cuadro 7. Rendimientos de biomasa aérea y de grano de frijol asociados a la interacción tratamientos de parcela grande (T) x tratamientos de parcela chica (NF).

Nivel de Fertilización ^{1/}	Rendimientos (kg/ha) ^{2/}			Promedio
	T1: Testigo	T2: <i>Canavalia</i>	T3: <i>Mucuna</i>	
Biomasa Aérea				
NF1: 50-60/00-00	783 (290) ^{3/}	774	962	840 (136) ^{4/}
NF2: 50-60/00-30	666	640	928	745
NF3: 50-60/30-30	929	1017	971	972
NF4: 100-60/00-00	881	719	871	824
NF5: 100-60/00-30	865	688	910	821
NF6: 100-60/30-30	858	006	892	918
Promedio	830 (285) ^{5/}	807	922	
Grano				
NF1: 50-60/00-00	435 (171) ^{3/}	520	674	543 (81) ^{4/}
NF2: 50-60/00-30	391	554	629	525
NF3: 50-60/30-30	605	656	822	694
NF4: 100-60/00-00	444	510	573	509
NF5: 100-60/00-30	452	493	591	512
NF6: 100-60/30-30	593	626	724	648
Promedio	487 (140) ^{5/}	560	669	

¹ Dosis de nitrógeno y fósforo en kg/ha, aplicadas a los cultivos de maíz y frijol, respectivamente.

² Promedio de tres años, dos sitios y tres repeticiones; excepto biomasa aérea es promedio de dos años.

³ Diferencia mínima significativa (DMS), para TxNF con P=0,05.

⁴ DMS para nivel de fertilización (NF) con P=0,05.

⁵ DMS para tratamientos de parcela grande con P=0,05.

Finalmente, en promedio el efecto de NF permite apreciar que no hubo efecto residual de la fertilización aplicada al maíz; es decir que los rendimientos de biomasa aérea y de grano de frijol asociados a los niveles de fertilización NF1, NF2 y NF3, no presentaron diferencia significativa con los niveles NF4, NF5 y NF6, respectivamente (Cuadro 7).

CONCLUSIONES

Mucuna spp. resultó ser la mejor leguminosa para el sistema maíz-frijol, debido a que disminuyó la incidencia de malezas, no compitió con el cultivo de maíz, mejoró ligeramente la fertilidad del suelo y favoreció las condiciones del suelo para un mejor aprovechamiento de la fertilización mineral en frijol.

El maíz de primavera-verano es un cultivo que permite el intercalado de leguminosas de cobertura, sin afectar su producción de biomasa subterránea, biomasa aérea y de grano.

El cultivo de frijol en el ciclo otoño-invierno, es eficiente para aprovechar el efecto de la interacción de cobertura con *Mucuna* y fertilización mineral; ya

que se encontró que el mejor rendimiento de grano de frijol se asoció a la interacción del tratamiento con *Mucuna* con la dosis de fertilización 30-30 kg/ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la Cooperación Suiza para el Desarrollo (COSUDE) y al Programa Cooperativo Regional de Frijol para Centroamérica, México y el Caribe (PROFRIJOL), por el financiamiento otorgado para realizar esta investigación.

LITERATURA CITADA

BUNCH, R. 1990. Low input soil restoration in Honduras: The Cantarranas farmer to farmer extension program. Gatekeeper series No. 23. International Institute for Environment and Development.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA (INEGI). 1995. Cuaderno estadístico municipal. San Andrés Tuxtla. Estado de Veracruz. 123 p.

- INEGI. 1997. Los cultivos anuales de México. VII Censo Agropecuario. 429 p.
- MILTON, F. B. 1989. Velvetbeans: an alternative to improve small farmer's agriculture. ILEIA Newsletter 5(2): 8-9.
- QUIROGA M., R. 1996. Uso de leguminosas en la producción de maíz: una experiencia regional en Chiapas, México. *In*: J. Pérez Moreno y R. Ferrera Cerrato (Eds). Nuevos horizontes en agricultura. Agroecología y desarrollo sostenible. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. pp 35-57.
- SECRETARIA DE DESARROLLO AGROPECUARIO FORESTAL Y PESQUERO (SEDAP). 1994. Veracruz en cifras. Sector agropecuario, forestal y pesquero 1989-1992.
- SMYTH, J. T.; CRAVO, S.M.; MELGAR, J.R.1991. Nitrogen supplied to corn by legumes in a Central Amazon Oxisol. *Trop. Agric. (Trinidad)* 68: 366-372.
- TRIOMPHE, B. 1995. Fertilidad de los suelos en la rotación maíz-*Mucuna*, Costa Norte de Honduras: resultados preliminares. XLI Reunión Anual del PCCMCA. Tegucigalpa, Honduras.
- TURRENT, F. A.; URIBE, G.S., FRANCISCO, N.N. y CAMACHO, C.R. 1995. La terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México. I. Análisis del desarrollo de la terraza durante seis años. *In*: Terra. SMCS. Chapingo, México. Volúmen 13(3): 276-298.