

Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de maíz en parcelas con y sin cobertura vegetal

Effect of the application of biofertilizers on the yield of corn in plots with and without vegetal cover

Yolanda del Camen Pérez-Luna¹, José David Álvarez Solís²

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de la aplicación de biofertilizantes (hongos micorrízicos y fertilizante orgánico foliar) y un cultivo de cobertura (CC) (frijol nescafé) sobre el rendimiento de maíz bajo condiciones de campo y prácticas de manejo de productores de maíz. El estudio se realizó en la temporada primavera-verano bajo condiciones de temporal en el ejido La Bella Ilusión, municipio Maravilla Tenejapa, Chiapas, México. Se seleccionaron 7 parcelas utilizadas para el cultivo de maíz, de las cuales tres contaban con antecedentes de cultivo de cobertura con frijol nescafé (*Mucuna deerengiana* Merr.) y cuatro sin cobertura. En cada una de las parcelas se trazó un área experimental de 1500 m² y se evaluó: 1) la inoculación con micorriza arbuscular, 2) la aplicación de un fertilizante foliar, 3) la aplicación combinada de micorriza-foliar, y 4) testigo sin inoculación ni aplicación de foliar, bajo un diseño de bloques completamente aleatorizados. El uso previo de CC tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento de maíz (4213,7 kg ha⁻¹; p = 0,013), el cual fue significativamente más alto en el tratamiento inoculado con micorriza, difiriendo en más de 1000 kg ha⁻¹ con respecto al testigo en algunos casos. Los niveles de colonización micorrízica fueron altos y no se observó un efecto de la aplicación del fertilizante foliar sobre el rendimiento de maíz. El efecto del antecedente de cultivo de cobertura y la inoculación con micorrizas fue evidente en el rendimiento de maíz.

Palabras clave: biofermento, hongos micorrízicos, *Mucuna* sp., *Zea mays*.

ABSTRACT

*The objective of this work was to determine the effect of the application of biofertilizers (mycorrhizal fungi and organic foliar fertilizer) and a cover crop (CC) (nescafe beans) on maize yield under field conditions and management practices of producers of corn. The study was conducted in the spring-summer season, under seasonal conditions in the Ejido La Bella Ilusión, Municipality of Maravilla Tenejapa, Chiapas, Mexico. Seven plots were selected for the cultivation of corn, of which three had antecedents of cover crop with nescafe beans (*Mucuna deerengiana* Merr) and four without cover. In each of the plots an experimental area of 1500 m² was plotted and evaluated: 1) the inoculation with arbuscular mycorrhiza, 2) the application of a foliar fertilizer, 3) the combined application of mycorrhiza-foliar, and 4) control without inoculation or foliar application, under a completely randomized block design. Previous use of CC had a positive effect on corn yield (4213.7 kg ha⁻¹; p = 0.013) which was significantly higher in the treatment inoculated with mycorrhiza, differing by more than 1000 kg ha⁻¹ with regarding the witness in some cases. The levels of mycorrhizal colonization were high and no effect of application of foliar fertilizer on maize yield was observed. The effect of the background crop history and the inoculation with mycorrhizae was evident in the yield of corn.*

Keywords: bioferment, mycorrhizal fungi, *Mucuna* sp., *Zea mays*.

Introducción

El alto grado de degradación de los suelos agrícolas y la contaminación ambiental derivada del uso excesivo de agroquímicos y métodos intensivos de producción han generado un impacto

negativo sobre los rendimientos agrícolas a nivel regional, nacional y mundial (Díaz-Prieto *et al.*, 2017). Una alternativa para sustentar la producción de maíz en el estado de Chiapas es la inoculación con microorganismos promotores del crecimiento denominados biofertilizantes (Rivero-Herrada,

¹ Universidad Politécnica de Chiapas, Carretera Tuxtla-Villaflores. Suchiapa, Chiapas, México.

² El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). México.

* Autor para correspondencia: yperez@upchiapas.edu.mx

2016). Las bacterias de los géneros *Rhizobium* y *Azospirillum*, así como los hongos micorrízicos del género *Glomus* (Quiñones-Aguilar *et al.*, 2012) son los más utilizados. Otra estrategia usada por los productores agrícolas es la incorporación de abonos verdes/cultivos de cobertura (AVCC), los cuales son considerados como una alternativa importante para conservar e incrementar la fertilidad de los suelos, debido a que permite sustituir la aplicación de fertilizantes químicos e incrementar la productividad de los cultivos. *Mucuna* sp. es una leguminosa utilizada para este fin, porque además de proteger el suelo aporta nutrientes que favorecen el crecimiento y desarrollo de cultivos como maíz, contribuyendo a la reducción de la erosión del suelo y aumentando la materia orgánica de este. Adicionalmente tiene un efecto positivo sobre la biología del suelo (Sanclemente-Reyes y Patiño-Torres, 2015). De igual forma, la aplicación de biofermentos representa una estrategia más para complementar la nutrición de los cultivos (Pacheco-Rodríguez *et al.*, 2017). Los biofermentos son preparados que resultan de la fermentación anaeróbica de una mezcla de compuestos como melaza, estiércol, leche, minerales, abonos verdes y levaduras, que se aplican directamente al cultivo como un fertilizante foliar, con la finalidad de aportar principalmente micronutrientes a la planta en suelos con baja fertilidad.

El cultivo de maíz forma parte de la cultura agrícola de los pobladores del ejido La Bella Ilusión, grupo organizado de productores orgánicos, y es su principal alimento. En esta zona, el maíz se cultiva en dos ciclos agrícolas: primavera-verano y otoño-invierno, el primero bajo condiciones de temporal y el segundo con humedad residual o “tornamil”. Para sostener la producción de maíz y otros cultivos se han planteado dos estrategias en las regiones donde aún se practica la agricultura de roza-tumba y quema, que están orientadas a incrementar la producción por unidad de superficie y mantener la superficie cultivada mediante una disminución del periodo de barbecho o descanso de la tierra. De acuerdo con Cuanalo y Uicab-Covoh (2005), esta última práctica ha sido la más empleada por los productores, de forma tal que el descanso de hasta 15 años que se le daba a la tierra se ha reducido a 7 años, en el mejor de los casos. La experiencia de algunos productores en el ejido La Bella Ilusión demuestra que las parcelas con uso agrícola están sometidas a un proceso de producción continua con

descansos reducidos que oscilan entre 1 y 4 años. Sin embargo, ante la percepción de que las pérdidas de nutrientes minerales y materia orgánica que sufre el suelo durante la fase de cultivo no se recuperan en periodos de 1-4 años de barbecho natural, por erosión, lavado y la misma cosecha del cultivo, han establecido como una alternativa la práctica de los barbechos mejorados. Esta consiste en la utilización de leguminosas (frijol arroz y nescafé) como cultivos de cobertura que protegen el suelo de la erosión y el lavado, y que al ser incorporadas mejoran los contenidos de materia orgánica y nutrientes en periodos más cortos de tiempo que con el barbecho natural. Además desarrollan nódulos en sus raíces, en cuyo interior existen bacterias que fijan el nitrógeno atmosférico, enriqueciendo el suelo no solo con este elemento sino también con carbono, mejorando así sus propiedades físicas y biológicas y por ende su estructura (Ros *et al.*, 2010). Dentro de las leguminosas que se han utilizado como AVCC se encuentra el frijol terciopelo o nescafé (*Mucuna deeringiana* Merr.), el cual ha sido ampliamente usado en América Central y del Sur como un agente eficaz para el enriquecimiento y mantenimiento de la fertilidad del suelo.

En este trabajo se analiza el efecto de la aplicación de biofertilizantes (hongos micorrízicos y biofermentos) y AVCC (frijol nescafé) sobre el rendimiento del cultivo de maíz criollo bajo condiciones de temporal en el ejido La Bella Ilusión, municipio Maravilla Tenejapa, Chiapas.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El trabajo se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano bajo condiciones de temporal en el ejido La Bella Ilusión, municipio Maravilla Tenejapa. Este municipio colinda al norte con la microrregión de Betania, al este con la Reserva de la Biosfera de Montes Azules, al sur con el vecino país Guatemala y al oeste con Nuevo Huixtán y Río Blanco (PRODESIS, 2007). Las coordenadas de la cabecera municipal son 16°08'20" de latitud norte y 91°17'44" de longitud oeste y se ubica a una altitud de 400 m sobre el nivel medio del mar. El clima existente en el municipio es Am(f) cálido húmedo con lluvias en verano que abarca el 100% de la superficie municipal. La vegetación natural corresponde a selva alta perennifolia,

alternada con parches de vegetación secundaria (acahuales), pastizales, y cultivos anuales y perennes. Los suelos en la clasificación FAO/UNESCO corresponden a Leptosoles réndzico y lítico, Luvisol crómico y Acrisol pélico. Los suelos de las parcelas consideradas en este estudio presentaron textura arcillosa, y sus principales atributos físicos y químicos se muestran en la Tabla 1. Para el desarrollo de este trabajo se seleccionaron siete parcelas, tres de ellas con antecedente de cobertura de frijol nescafé y las restantes sin cobertura, así como la aplicación del inóculo micorrízico (*Glomus* sp.) y el fertilizante orgánico foliar (biofermento).

Diseño experimental

Para este experimento, en cada una de las parcelas se trazó un área experimental de 1500 m² en las que se evaluaron cuatro tratamientos: 1. Testigo, 2. Micorriza (*Glomus* sp.), 3. Foliar (biofermento) y 4. Micorriza+Foliar, bajo un diseño de bloques completamente aleatorizados con siete repeticiones. Los tratamientos se ubicaron aleatoriamente en cada bloque y la unidad experimental tuvo un tamaño promedio de 375 m².

Preparación del terreno e inoculación de semillas

En cada una de las parcelas se realizó la limpieza del terreno, rozando las arvenses y la cobertura que crece en ellas. Se dejó este material sobre la superficie del suelo. Únicamente en una de las parcelas se hizo la quema de residuos de cosecha y arvenses. Previo a la siembra, las semillas de maíz fueron inoculadas con el biofertilizante consistente en una mezcla de especies de hongos

micorrízicos pertenecientes a los géneros *Glomus* y *Acaulospora*, principalmente. Este inóculo se propaga en el ejido utilizando pasto cubano (*Brachiaria brizantha*) como cultivo trampa. Para la inoculación se humedecieron 6 kg de semillas de maíz con aproximadamente 700 ml de agua. Luego fueron peletizadas con 1½ kg de inóculo micorrízico y se dejaron secar por toda una noche. Al siguiente día se sembraron en los tratamientos Micorriza y Micorriza+Foliar evitando la exposición directa al sol. Las características del biofertilizante micorrízico se presentan en la Tabla 2.

Elaboración del fertilizante foliar

Para la preparación del fertilizante foliar se mezclaron los siguientes ingredientes: melaza (4%), leche (6%), minerales (roca) (2%), estiércol de ganado vacuno (25%), ceniza (1,5%) y hojas de frijol nescafé (*Mucuna deeringiana* Merr.) (3%). Esta mezcla se dejó fermentar por espacio de 28 días en condiciones anaeróbicas, únicamente removiendo el material cada 3 días. Una vez que la fermentación culminó, el material se filtró y se obtuvo un concentrado (foliar) que se aplicó diluido y por aspersión al cultivo. La composición química de este producto analizado con base en los métodos de la NOM-021-RECNAT 2000, se presenta en la Tabla 3. La dosis de fertilizante foliar aplicada varió para cada una de las parcelas, y esto se debió principalmente a la disponibilidad que el productor tenía del biofermento.

Siembra

La siembra se realizó en los meses de mayo y junio con “cubo” (madero con base cuadrada) con

Tabla 1. Características físicas y químicas del suelo en las parcelas.

Parcela	DA (g/ml)	pH	MO (%)	N total (%)	P (mg/kg)	CIC (cmol/kg)
El Cerro	1,00	6,0	8,9	0,48	8,9	82,1
El Aguacate	0,94	6,4	7,6	0,41	12,7	83,1
La Y	0,93	6,3	6,6	0,33	5,6	79,2
La Y (2)	0,95	6,6	6,6	0,33	8,0	65,8
Las Ruinas	1,03	6,5	6,0	0,30	5,3	82,7
La Curva	0,95	6,5	11,9	0,63	11,2	81,5
El Cedro	0,97	6,3	9,6	0,55	16,6	81,2

DA = densidad aparente (probeta), MO = materia orgánica (Walkley y Black), N total = nitrógeno total (microKjeldahl), P = fósforo extraíble (Olsen), CIC = capacidad de intercambio de cationes (acetato de amonio 1N, pH 7).

Tabla 2. Características del biofertilizante micorrízico.

Características	Valor
Físicas	
Arena (%)	25,8
Arcilla (%)	62,2
Limo (%)	12,0
Clasificación textural	Arcilloso
Químicas	
pH (agua, relación 1/2)	6,4
Materia orgánica (%)	10,3
Nitrógeno total (%)	0,69
Fósforo extraíble (Olsen, mg/kg)	12,4
CIC (cmol ⁺ /kg)	74,1
Microbiológicas	
Humedad (%)	38,8 ± 1,26
Esporas (10 g de sustrato)	92,3
Raíces colonizadas (g /10 g de sustrato)	1,07
Colonización micorrízica (%)	84,0

Tabla 3. Características del fertilizante orgánico foliar.

Característica	Unidad	Biofermento
Materia orgánica	%	29,29
Humus total	%	0,20
Ácido húmico	%	0,12
Ácido fúlvico	%	0,08
Nitrógeno	%	2,07
Fósforo	%	0,59
Potasio	Mg/L	740,83
Magnesio	Mg/L	1 109,50
Hierro	Mg/L	493,08
Manganeso	Mg/L	47,94
Cobre	Mg/L	107,14
Zinc	Mg/L	585,25
pH		8,22
Conductividad eléctrica	dS/m	2,24 8,95

2 a 4 semillas de maíz por punto de siembra a una distancia de 0,70 a 1,20 m entre surcos y matas. Las variedades de maíz sembradas fueron “pinul”, “jarocho”, “chucuy”, “olotillo blanco”, “tuxpeño” y “tacsá”. Todas corresponden a semillas locales que son obtenidas de cosechas anteriores, excepto la última. Los productores realizan diferentes prácticas de manejo en las parcelas (Tabla 4), y también aplican distintas dosis de biofertilizantes (Tabla 5).

Medición de variables

A los 90 días después de la siembra (dds) en la parte central de cada tratamiento en cada

una de las parcelas, se eligieron al azar 5 matas de maíz por tratamiento. Se evaluó la altura de planta con estadal desde la base del suelo a la última hoja expuesta de la planta, el diámetro del tallo en el primer entrenudo con vernier digital y número de hojas. Se recolectó una muestra compuesta de raíces finas de plantas de maíz en estadio de floración en todas las parcelas, para determinar el porcentaje de colonización del HMA mediante el procedimiento de clareo y tinción descrito por Phillips y Hayman (1970). También se realizó un análisis foliar determinándose la concentración de N, (semi-microkjeldhal), P (Olsen) y K (espectrofotometría de absorción atómica en flama). Para ello se recolectaron hojas ubicadas en sentido opuesto de las mazorcas. Las hojas fueron puestas a secar en horno a 60 °C por 48 h y se molieron. A los 150 dds se evaluaron los componentes del rendimiento, considerando 20 plantas por tratamiento para cada parcela. Se midió longitud, diámetro y número de hileras de la mazorca, número de granos por hilera, el peso total de la mazorca y peso de grano para determinar rendimiento.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial de tratamientos. Como factores se consideraron el antecedente de cobertura (con y sin) y los tratamientos de biofertilización (Testigo, Micorriza, Foliar y Micorriza+Foliar), así como su interacción. Se realizó un análisis de varianza de dos vías. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante el análisis de varianza multifactorial y por comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$) con SPSS v.23.

Resultados y discusión

Aun cuando geográficamente el 83% de la superficie del ejido La Bella Ilusión se encuentra dentro de un Área Natural Protegida Comunitaria de la Reserva de la Biósfera de Montes Azules, las prácticas agroecológicas como la asociación de cultivos y la diversidad de especies que los productores mantienen en su milpa les permiten satisfacer la demanda familiar de alimentos haciendo un uso sustentable de sus recursos. Esta condición no fomenta la extensión de la frontera agrícola, práctica que únicamente ha traído destrucción del

Tabla 4. Prácticas de manejo realizadas en las parcelas.

Prácticas	Parcelas						
	El Cerro	El Aguacate	La Y	La Y (2)	Las Ruinas	La Curva	El Cedro
Años en descanso	8	1	0	1	0	2	4
Años cultivado	1	4	15	3	6	12	2
Preparación del terreno	R	R	R	R-Q	R	R	R
Mes de siembra	Mayo	Junio	Mayo	Mayo	Junio	Mayo	Junio
Distancia de siembra (m)	1-1,2	0,9-0,9	0,9-0,8	1-1	1-1	1-1	1-0,7
Densidad (matas/ha)	8333	12321	13875	10000	10000	10000	14300
Plantas/punto de siembra	4	4	3-4	2-3	2	2-3	2-3
Limpias	3	2	2	1	2	2	2

R = Roza, Q = Quema, A = parcela con nescafé, B = parcela con pasto.

Tabla 5. Condiciones imperantes en las parcelas.

Tratamientos	Parcelas						
	El Cerro	El Aguacate	La Y	La Y (2)	Las Ruinas	La Curva	El Cedro
Abono verde	No	Si	Si	No	Si	No	No
Variedad de maíz	P	J	Ch, J	Ta	O	Ch, O	Tu
Aplicación foliar	3	2	2	1	2	2	2
Dosis foliar (L)	0,5	1	2	0,19	0,25	0,5	0,16
Inóculo HMA (kg/kg de semilla)	1/8	1/12	0,5/6	1/10	1/8	1/8	1/8

P = Pinul, J = Jarocho, Ch = Chucuy, Ta = Tacsá, O = Olotillo blanco, Tu = Tuxpeño.

hábitat y deforestación, así como el deterioro de la fertilidad del suelo, por lo que los productores han establecido estrategias que les permitan asociar el cultivo de maíz con plantaciones maderables (cedro), frutales (plátano, limas) y herbáceas, así como la aplicación de biofertilizantes (hongos micorrízicos arbusculares), biofermentos y abonos verdes.

Crecimiento vegetativo del cultivo

En la parcela El Cerro no se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$)

para las variables altura, diámetro y número de hojas entre tratamientos (Tabla 6). Se observa un efecto de la inoculación con el HMA sobre la producción de grano de maíz (Figura 1a), ya que el rendimiento obtenido en el tratamiento Micorriza supera en poco más de 1500 kg ha⁻¹ al testigo.

En la parcela El Aguacate el tratamiento Micorriza presentó el valor más alto (88%) en colonización por HMA difiriendo estadísticamente de los tratamientos testigo y foliar. En cuanto al análisis foliar, se observa que las concentraciones de N son bajas y para P se consideran suficientes

Tabla 6. Desarrollo vegetativo, colonización micorrízica y análisis foliar.

Parcela	Desarrollo vegetativo			Colonización HMA (%)	Análisis foliar (%)		
	Altura (m)	Diámetro (mm)	Número de hojas		N	P	K
El Cerro	3,0	20-24	12	71-95	2,6-2,7	0,27-0,33	2,3-3,2
El Aguacate	3,0	22-23	12-13	58-88	1,9-2,1	0,20-0,33	2,2-3,1
La Y	3,0	20-23	10-12	76-86	1,7-2,1	0,20-0,31	2,0-2,9
La Y (2)	2,6	20-23	12	56-75	2,3-3,9	0,19-0,26	1,9-2,5
Las Ruinas	3,1	20-22	10-12	69-85	1,8-2,0	0,18-0,24	1,4-2,4
La Curva	2,4	18-20	11-12	71-82	2,6-2,8	0,25-0,32	1,6-2,6
El Cedro	2,8	17-20	12	73-96	1,8-2,1	0,32-0,44	2,2-3,2

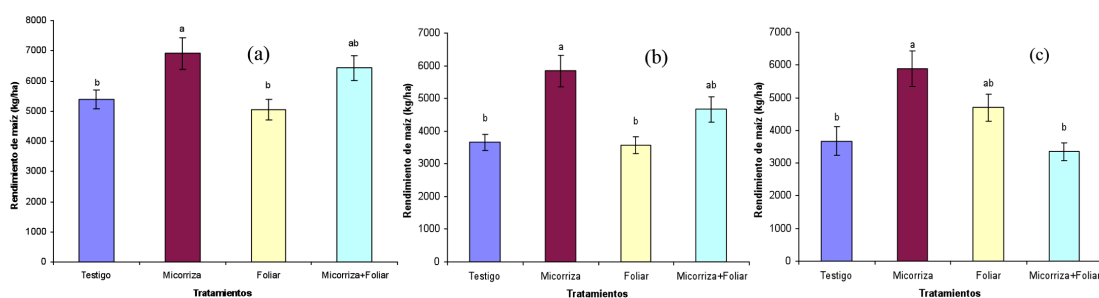


Figura 1. Rendimientos de maíz (kg ha^{-1}) en cada uno de los tratamientos evaluados en las parcelas a) El Cerro, b) El Aguacate, c) La Y.

para el desarrollo de la planta de maíz, excepto para el valor presentado en el Testigo, mientras que para K son altas (Tabla 6). La diferencia en cuanto a rendimiento de maíz fue de un poco más de 2000 kg ha^{-1} proporcionado por el tratamiento Micorriza con respecto al testigo y al foliar (Figura 1b).

En la parcela La Y se presenta el mismo comportamiento que el observado en las dos parcelas anteriores para las variables de desarrollo vegetativo entre tratamientos (Tabla 6). El rendimiento de maíz obtenido en el tratamiento Micorriza para esta parcela superó en más de 2000 kg ha^{-1} al observado en el Testigo y Micorriza+Foliar (Figura 1c).

El efecto observado en el tratamiento Micorriza en las parcelas El Cerro, El Aguacate y La Y puede atribuirse a que la presencia de HMA en el suelo beneficia la nutrición vegetal al actuar como extensores del sistema radical de las plantas. De esta forma el cultivo aumenta su capacidad de absorber agua y nutrientes, principalmente fósforo. Los incrementos en los rendimientos de maíz observados en estas tres parcelas en los tratamientos inoculados con *Glomus* sp. concuerdan con los presentados por Cruz-Chávez (2007), quien reporta incrementos del 11,5% al 19% cuando el maíz es inoculado con el HMA *Glomus intraradices*. En Chiapas, Camas (1999) encuentra rendimientos más altos (15%) de maíz inoculado con *Azospirillum* y *Glomus*, con respecto al testigo, mientras que para el Estado de México se registra un aumento del 17% en el rendimiento de maíz inoculado con *Glomus* únicamente. En otro experimento, Pérez-Luna *et al.* (2012) reportan un incremento en el rendimiento de maíz de aproximadamente 68 kg ha^{-1} cuando se inocula con *G. intraradices* con respecto al testigo, y este rendimiento se ve favorecido en un 26% cuando además del hongo se adiciona humus

de lombriz. Es importante mencionar que los HMA no sólo mejoran la nutrición de P, sino que también favorecen una mayor capacidad para translocar N del suelo a fin de que sea asimilado por la planta. Asimismo, la hifa externa de los HMA puede absorber y translocar otros elementos como K, Ca, Mg, Si, Cu, Zn, B y Fe como lo demuestran algunas evidencias (Nakano *et al.*, 2001), lo que repercute en el rendimiento del grano.

En las parcelas El Cerro y El Aguacate no se observó un efecto importante por la adición del biofermento, lo cual puede deberse a la dosis aplicada ($0,5$ a 1 L). Sin embargo, en el tratamiento Micorriza+Foliar los rendimientos de maíz mejoraron, lo cual sugiere que este efecto se debe a la adición de *Glomus* sp.

En la parcela La Y (2) el porcentaje más alto de colonización micorrizica se presentó en los tratamientos Foliar y Micorriza (75% y 74%, respectivamente), aun cuando se observó una menor colonización por HMA con respecto al resto de las parcelas evaluadas, lo cual puede deberse a la quema que realizó el productor. Las concentraciones de P resultantes del análisis foliar fueron bajas para todos los tratamientos excepto para Micorriza (Tabla 6).

En la parcela Las Ruinas no se observaron diferencias estadísticas significativas para rendimiento de grano. Sin embargo, se encontró una diferencia de alrededor de 600 kg ha^{-1} entre el tratamiento Micorriza+Foliar y los tratamientos Testigo y Foliar. En cuanto al porcentaje de colonización, el tratamiento Micorriza presentó el porcentaje más alto (85%).

En la parcela La Curva, una de las parcelas más dañadas por el paso del viento, se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para la altura de las plantas, que fue mayor en

el tratamiento Foliar. El tratamiento Micorriza presentó el porcentaje más alto de colonización por el HMA (82%). En cuanto a la producción de grano de maíz, en el tratamiento Micorriza se obtuvieron 3440,6 kg ha⁻¹, superior a lo logrado en el tratamiento Micorriza+Foliar (2362,7 kg ha⁻¹).

En la parcela El Cedro el efecto del viento causó graves daños al cultivo. El tratamiento Micorriza presentó el porcentaje de colonización más alto (96%) (Tabla 6) y en el tratamiento Foliar se obtuvo el mayor rendimiento (4360,1 kg ha⁻¹) de maíz, superior al resto de los tratamientos en más de 300 kg ha⁻¹.

Efecto de la cobertura

El antecedente de cobertura de frijol nescafé propició diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para el número de plantas por mata, la altura y el diámetro de las plantas de maíz, y se observó un efecto positivo del frijol nescafé sobre estas variables. Sin embargo, entre tratamientos no se presentaron diferencias estadísticas significativas (Tabla 7).

Colonización y nutrición mineral

El porcentaje de colonización micorrízica no varió con significancia estadística en relación con el antecedente de cobertura de frijol nescafé. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de biofertilización ($p = 0,0001$). El tratamiento inoculado con *Glomus* sp. difirió de

los demás tratamientos. La inoculación con el HMA propició el nivel más alto de colonización (86,6%). En el análisis foliar se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,0001$) para la concentración de N foliar por el antecedente de frijol nescafé. Plantas desarrolladas en ausencia de cobertura presentaron mayor concentración de N (2,51 g mata⁻¹) y no se registraron diferencias entre tratamientos (Tabla 7).

Rendimiento de maíz

El rendimiento de maíz estuvo en el rango de 3,4 t ha⁻¹ a 4,2 t ha⁻¹. Hay un efecto significativo ($p = 0,013$) del factor cobertura y altamente significativo ($p < 0,001$) de la aplicación de biofertilizantes. La cobertura tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento de maíz, favoreciendo en 36 % la producción de grano en comparación con los sitios donde no se tuvo cobertura (Tabla 7).

No obstante la ausencia de un efecto estadísticamente significativo para el tratamiento Foliar, en la parcela La Y se observó que su aplicación promovió un aumento del 28% en el rendimiento de grano del maíz (4694,9 kg ha⁻¹) en relación con el Testigo (3675,8 kg ha⁻¹), lo cual puede deberse a que se aplicó una dosis mayor (2 L) con respecto al resto de las parcelas consideradas. Debe tenerse en cuenta que el efecto de la fertilización foliar depende de factores relacionados con la planta, con el ambiente y con la formulación del foliar (Fernández *et al.*, 2015). La no respuesta a la fertilización foliar en el rendimiento de maíz en este trabajo puede deberse

Tabla 7. Efecto del antecedente de cobertura de frijol nescafé (*Mucuna deeringiana* Merr.) y de la biofertilización en el desarrollo vegetativo, colonización micorrízica, análisis foliar y rendimiento de maíz.

Condición	Plantas mata ⁻¹	Altura de plantas (m)	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas	Colonización de raíz (%)	Contenido nutrimental (g mata ⁻¹)			Rendimiento de maíz (kg ha ⁻¹)
						N	P	K	
Cobertura									
Sin	2,5 ^{b1}	2,7 ^b	20,6 ^b	11,8 ^a	77,5 ^a	2,51 ^a	0,30 ^a	2,46 ^a	3099,7 ^b
Con	3,1 ^a	3,1 ^a	21,6 ^a	11,5 ^a	76,2 ^a	1,91 ^b	0,25 ^a	2,39 ^a	4213,7 ^a
Tratamientos									
Testigo	2,7 ^a	2,9 ^a	21,2 ^a	11,8 ^a	70,0 ^b	2,20 ^a	0,26 ^a	2,66 ^a	3402,4 ^b
Micorriza	2,8 ^a	2,9 ^a	21,0 ^a	11,6 ^a	86,6 ^a	2,14 ^a	0,29 ^a	2,34 ^a	4198,7 ^a
Foliar	2,9 ^a	3,0 ^a	21,3 ^a	11,7 ^a	74,3 ^b	2,40 ^a	0,31 ^a	2,14 ^a	3608,4 ^b
Micorriza+Foliar	2,6 ^a	2,8 ^a	20,7 ^a	11,5 ^a	76,9 ^b	2,10 ^a	0,25 ^a	2,57 ^a	3436,7 ^b

¹Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes entre sí (Tukey, 0,05).

a las condiciones de fertilidad natural de los suelos (Tabla 1). En este sentido, son poco conocidos los parámetros fisicoquímicos que regulan la absorción foliar. Las interacciones entre el medio ambiente y las características de la hoja complican el efecto del biofermento. La luz, humedad y temperatura también ejercen un efecto en la respuesta de la planta a la fertilización foliar. En este caso, la aplicación del biofermento la realizó cada productor bajo diferentes condiciones. No obstante, el productor reconoce un efecto del foliar sobre la vigorosidad y coloración de las plantas de maíz después de su aplicación.

Las variedades de maíz sembradas fueron diferentes para las parcelas evaluadas, de manera que las mazorcas de mayor longitud corresponden a las variedades “pinul morado” (19,4 cm) y “tacsá” (19,0 cm). Esta última también presentó el diámetro mayor (50,4 mm); sin embargo, “olotillo blanco” tuvo más granos por hilera (36,7) y por ende mayor producción de grano de maíz. El alto valor observado en “pinul morado” para producción de grano correspondió a la resiembra que el productor realizó en su parcela debido a la falta de humedad durante la siembra. Por lo tanto, el rendimiento obtenido con esta variedad no fue considerado para fines de comparación con las otras variedades al analizar el rendimiento de grano.

El mayor crecimiento vegetativo y la translocación de N del follaje hacia la formación del grano pudo haber sido una causa del menor contenido de N en el follaje debido al incremento significativo de ambas variables en maíz con la cobertura de la leguminosa (Tabla 7). Es posible también que el beneficio observado en el maíz por la presencia de AVCC se deba a las raíces largas de estas leguminosas, que les permiten extraer nutrientes que incorporan en sus tejidos y que durante el proceso de descomposición son liberados y absorbidos por las raíces del maíz (Lathwell, 1990). La interacción de maíz con leguminosas favorece el incremento en su rendimiento (Altieri *et al.*, 2011) ya que el frijol nescafé fija aproximadamente 200 kg ha⁻¹ de N₂, lo que le permite proporcionar materia orgánica y N al suelo (Franke *et al.*, 2008). El efecto del antecedente de cobertura y de la inoculación con Micorriza fue evidente en el rendimiento de maíz.

En cuanto al nivel de colonización, las diferencias observadas entre parcelas con y sin cobertura fueron mínimas. Sin embargo, se encontró un alto

porcentaje de colonización en general para las parcelas evaluadas, lo cual evidencia condiciones de suelo adecuadas para mantener la actividad biológica de este tipo de microorganismos y que los cultivos que se mantienen en las parcelas promueven su desarrollo. Sorensen *et al.* (2005) mencionan que el uso de AVCC ha reportado incrementos en la colonización por HMA, debido a que la presencia de materia orgánica es fuente de energía para los organismos del suelo, de manera que cuanto mayor sea la producción de biomasa de los AVCC, mayor será la población microbiana. En este sentido, las parcelas de la Bella Ilusión en general presentan concentraciones importantes de materia orgánica.

El efecto positivo de la presencia de frijol nescafé sobre el rendimiento de maíz ha sido ampliamente documentado en otros trabajos (Sileshi *et al.*, 2009). Al respecto, Burkles *et al.* (1999) reportaron que la rotación de abonos verdes con maíz incrementó los rendimientos del cultivo. En los Tuxtlas Veracruz se alcanzó un incremento en el rendimiento de maíz de una tonelada por hectárea utilizando abonos verdes. Philipp (1998) señaló que con la cobertura de *Mucuna* el maíz mostró un incremento en su rendimiento de 1,29 t ha⁻¹ con respecto al maíz sin la leguminosa como cobertura. Asimismo, Philipp y Gamboa (2003) indican que la siembra de 32 kg ha⁻¹ de semilla de *Mucuna* generó incrementos de 1,9 t ha⁻¹ de maíz, mientras que al aumentar a 52 kg ha⁻¹ el rendimiento se elevó a 2,4 t ha⁻¹. Dentro de los beneficios sobre la producción de maíz que se les atribuyen a los abonos verdes está la fijación de N, el incremento en la fertilidad del suelo, la liberación lenta de nutrientes a partir de su descomposición y el aumento en la disponibilidad de agua para el cultivo, lo cual está relacionado con mayor retención de agua por el suelo y reducción de la evaporación (Philipp y Gamboa, 2003).

Por lo tanto, los abonos verdes son una alternativa para incrementar y conservar la fertilidad natural del suelo y con ello eliminar la aplicación de fertilizantes químicos, debido a que una de las características que se les reconoce es su capacidad de aumentar la concentración de materia orgánica en el suelo y con ello la disponibilidad de micro y macronutrientes (Beltrán-Morales *et al.*, 2009) necesarios para los cultivos como maíz. De igual forma, los HMA además de mejorar las propiedades del suelo incrementan la absorción de nutrientes esenciales para los cultivos como

el caso de P. De manera que la combinación de ambos beneficiará el rendimiento de cultivos de importancia agrícola como maíz, y con ello se asegurará el autoabastecimiento de este cereal para los productores del ejido La Bella Ilusión sin poner en riesgo los recursos con que cuentan, entre ellos el suelo.

Conclusiones

El uso de abonos verdes/cultivos de cobertura es una opción viable ambiental y económicamente

para aportar nutrimentos, carbono orgánico y mejorar las propiedades de los suelos. A ello se suman sus efectos sobre la actividad microbiana del suelo, específicamente al incrementar la colonización por hongos micorrízicos arbusculares. Aun con las diferencias que se observaron entre las parcelas estudiadas, la inoculación con HMA favoreció el aumento en el rendimiento de maíz. Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran la importancia de incorporar cultivos de cobertura para favorecer el desarrollo e incrementar el rendimiento de maíz.

Literatura citada

- Altieri, M.A.; Funes-Monzote, F.R.; Petersen, P.
2011. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: Contributions to food sovereignty. *Agron. Sustain. Dev.*, 32: 3-15.
- Beltrán-Morales, F.A.; García-Hernández, J.L.; Ruiz-Espinoza, F.H.; Fenech-Larios, L.; Murillo-Amador, B.; Palacios, A.; Troyo-Diéguez, E.
2009. Nutritional potential of red dolichos, brown dolichos and cowpea for green manure produced under three tillage Systems. *Trop. Subtrop. Agroecosystems*, 10: 487-495.
- Burkles, D.; Trionphe, B.; Sain, G.
1999. Cover crops in hillside agriculture: farmer innovation with *Mucuna*. *International Development Center Ottawa. Agriculture and Environment for Developing Regions*, 4(9): 227 p.
- Camas, G.R.
1999. Programa de validación de Biofertilizantes en Chiapas PV 1999 y Avances OI 99/2000. Informe anual PV 1999. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigaciones Regionales Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas. 10 p.
- Cruz-Chávez, F.J.
2007. Transferencia de Tecnología en Biofertilizantes. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas. 10 p.
- Cuanalo de la C., H.E.; Uicab-Covoh, R.A.
2005. Investigación Participativa en la Milpa Sin Quema. *TERRA Latinoamericana*, 23: 587-597.
- Díaz-Prieto, L.A.; Vázquez-Luna, D.; Jarquín-Sánchez, A.; Velázquez-Silvestre, A. y Lara-Rodríguez, D.A.
2017. Especies tropicales (Fabaceae): Inversión asociada al aporte rizosférico de nitrógeno y fósforo al suelo. *Agroproductividad*, 10(12): 116-120.
- Franke, A.C.; Laberge, G.; Oyewole, B.D.; Schulz, S.
2008. A comparison between legume technologies and fallow, and their effects on maize and soil traits, in two distinct environments of the West African savannah. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 82: 117-135.
- Fernández, V.; Sotiropoulos, T.; Brown, P.
2015. Fertilización Foliar. Principios Científicos y Práctica de Campo. Primera edición. Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes, IFA, París, Francia, ISBN 979-10-92366-03-7.
- Lathwell, D.J.
1990. Legume Green Manures, Principles for Management based on recent research. *TropSoils Bulletin. Raleigh, N.C.* 90(1): 30.
- Nakano, A.; Kazushi, T.; Kimura, M.
2001. Effect of host shoot clipping on carbon and nitrogen sources for arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 10(6): 287-293.
- Pacheco-Rodríguez, F.; Borrero González, G.P.; Villalobos Rodríguez, M.
2017. Evaluación de la calidad bioquímica resultante de biofermentos agrícolas para uso de familias productoras orgánicas. Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica. Instituto Nacional de Aprendizaje y Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica. Editorial Red de Coordinación en Biodiversidad. 32 p.
- Pérez-Luna, Y.C.; Álvarez-Solís, J.D.; Mendoza-Vega, J.; Pat-Fernández, J.M.; Gómez-Álvarez, R.
2012. Influencia del humus de lombriz y biofertilizantes en el crecimiento y rendimiento del maíz. *Gayana Botánica*, 69 (número especial): 15-22.
- Philipp, D.
1998. Monitoreo segunda parte. Informe final CSA. Pro Mundo Humano. Managua, Nicaragua. 8 p.
- Phillipp, D.; Gamboa, W.
2003. Observaciones sobre el sistema *Mucuna*-maíz en laderas de Waslala, Región Atlántica de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*, 14(2): 215- 221.
- Phillips, J.M.; Hayman, D.J.
1970. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55: 158-161.
- PRODESIS. Proyecto Desarrollo Social Integrado y Sostenible.
2007. Que la Selva viva. Maravilla Tenejapa. Gobierno del Estado.
- Quiñones-Aguilar, E.E.; Hernández-Acosta, E.; Rincón-Enríquez, G.; Ferrera-Cerrato, R.
2012. Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y fertilización fosfatada en papaya. *TERRA Latinoamericana*, 30(2): 165-176.

- Rivero-Herrada, M.; Gaibor Fernández, R.R.; Reyes Pérez, J.J.; Mozena Leandro, W.; de Brito Ferreira, E.P.
2016. Abonos verdes y su influencia en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en sistema agroecológico. *Centro Agrícola*, 43(2): 42-48.
- Ros, M.; Rodríguez, I.; García, C.; Hernández, T.
2010. Microbial communities involved in the bioremediation of an aged recalcitrant hydrocarbon polluted soil by using organic amendments. *Bioresour. Technol.*, 101: 6916-6923.
- Sanclemente-Reyes, O.E.; Patiño-Torres, C.O.
2015. Efecto de *Mucuna pruriens* como abono verde y cobertura sobre algunas propiedades físicas del suelo. *Entramado*, 11(1): 206-211.
- Sileshi, G.; Akinnifesi, F.K.; Ajayi, O.C.; Place, F.
2009. Evidence for impact of Green fertilizers on maize production in sub-Saharan Africa: a meta-analysis. ICRAF Occasional Paper N° 10. World Agroforestry Centre. Nairobi, Kenia.
- Sorensen, J. N.; Larsen, J.; Jakobsen, I.
2005. Mycorrhiza formation and nutrient concentration in leeks (*Allium porrum*) in relation to previous crop and cover crop management on high P soils. *Plant and Soil*, 273: 101-114.