



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Chiná

TESIS

Efecto de abonos verdes sobre las características agronómicas del maíz nativo X'mejen Naal en Luvisoles férricos de Campeche, México

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN AGROECOSISTEMAS SOSTENIBLES

PRESENTA
Gilberto Matos Pech

Chiná, Campeche, México a Octubre 2021



Certificado No: SG 20191090

Calle 11 s/n entre 22 y 28, C.P. 24520
Chiná, Campeche. Tel. (981) 82-72052 y 82-72082
E-mail: dir01_china@tecnm.mx
tecnm.mx | china.tecnm.mx





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Chiná

T E S I S

**Efecto de abonos verdes sobre las características agronómicas del maíz
nativo X'mejen Naal en Luvisoles férricos de Campeche, México**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN AGROECOSISTEMAS SOSTENIBLES**

**PRESENTA
Gilberto Matos Pech**

Chiná, Campeche, México a Octubre 2021



Certificado No: SG 20191090

Calle 11 s/n entre 22 y 28, C.P. 24520
Chiná, Campeche. Tel. (981) 82-72052 y 82-72082
E-mail: dir01_china@tecnm.mx
tecnm.mx | china.tecnm.mx





Instituto Tecnológico de Chiná
Subdirección Académica

División de Estudios de Posgrado e Investigación
Chiná, Campeche, Campeche a 25 de octubre de 2021
Oficio Tesis MCAGS-08
Asunto: **Aprobación**

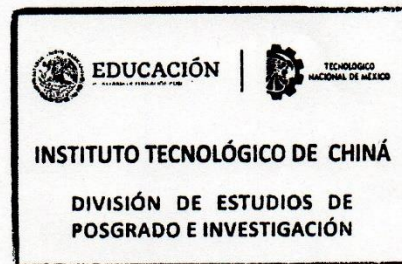
C. GILBERTO MATOS PECH
Presente:

El que suscribe, manifiesta que el Dictamen emitido por el Comité de Revisión que integra el sínodo del trabajo de tesis denominado "Efecto de abonos verdes sobre las características agronómicas del maíz nativo X´mejen Naal en Luvisoles férricos de Campeche, México". Es aprobado como requisito parcial para obtener el **Grado de Maestro en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles**.

Sin otro particular reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
Aprender Produciendo

JOSÉ JAVIER PERALTA COSGAYA
DIRECTOR
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINÁ
JJPC/MCBA/JFMP



Certificado No: SG 20191090

Calle 11 s/n entre 22 y 28, C.P. 24520
Chiná, Campeche. Tel. (981) 82-72052 y 82-72082
E-mail: dir01_china@tecnm.mx
tecnm.mx | china.tecnm.mx



COMITÉ REVISOR

Este trabajo fue revisado y aprobado por este Comité y presentado por el C. Gilberto Matos Pech como requisito parcial para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles del día 25 del mes de octubre del año 2021 en Chiná, Campeche.

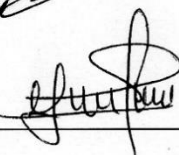
M.C. Enrique Arcocha Gómez

Presidente



Dra. Patricia Margarita Garma Quen

Secretario



Dra. Mónica Beatriz López Hernández

Vocal



M.C. Noel Antonio González Valdivia

Vocal suplente



DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en el presente documento deriva de los estudios realizados para alcanzar los objetivos planteados en mi trabajo de tesis, en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Chiná. De acuerdo a lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Chiná. Por otra parte, de acuerdo a lo manifestado, reconozco de igual manera que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de la información generada en el desarrollo del presente estudio, le pertenecen patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Chiná de manera que si se derivasen de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, estos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.

Firma: _____



Nombre: Gilberto Matos Pech

Agradecimientos

Primeramente agradezco a Dios, por todas tus bendiciones a mi vida, por darme fuerzas, gracias por hacerme coincidir con las personas indicadas en el tiempo justo, por estar siempre a mi lado, y permitirme concluir este proyecto de vida, un logro profesional.

A mi esposa Fidelia, por su amor, apoyo y compañía, por hacer equipo conmigo, y seguir luchando a mi lado, buscando construir un mejor futuro, para nosotros y nuestra pequeña familia. Agradezco a mis padres Gilberto y Etelvina, por haberme dado la vida, por su apoyo incondicional hasta el día de hoy, Dios me los conserve muchos años más.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para el financiamiento de los estudios de maestría (No. CVU 1007381).

Agradezco al Tecnológico Nacional de México, por financiar este experimento con el proyecto (8724.20-P) “Efecto de abonos verdes sobre las características agronómicas del maíz nativo X’mejen Naal en Luvisoles férricos de Campeche, México”.

Tengo que agradecer sin lugar a duda el apoyo de mis maestros y asesores; M.C. Enrique Arcocha Gómez, Dr. Noel Antonio González Valdivia, Ing. Miguel Arcángel Burgos Campos, Dra. Mónica Beatriz López Hernández, Dra. Patricia Margarita Garma Quen, quienes estuvieron siempre al pendiente del desarrollo del proyecto en campo, así como sus valiosas recomendaciones y correcciones realizadas al documento, gracias por compartir sus conocimientos y sabiduría, y por su amistad.

Agradezco al Instituto Tecnológico de Chiná y en particular al Laboratorio de Agroecología y Agricultura Orgánica Sustentable (LAAOS) por todas las facilidades otorgadas, para la realización de mis estudios de maestría. A todos los maestros con los cuales coincidí en diversas asignaturas estudiadas, quienes sin egoísmo me compartieron sus conocimientos, experiencias de vida, que culminaron con la conclusión de los estudios de maestría. Un fuerte abrazo para todos ellos. Espero seguir creciendo profesionalmente, y poder aportar los conocimientos adquiridos para el desarrollo de las comunidades y productores del estado de Campeche.

Dedicatoria

A Dios, por la vida, y por todas sus bendiciones.

Quiero dedicar este proyecto de tesis, a mi esposa Fidelia Ramírez Torres y a mi hijo Gabriel Jared Matos Ramírez, quienes sin lugar a duda son el motor principal, que me han impulsado a continuar estudiando y soñar con un futuro mejor para nuestra pequeña familia.

A mis padres Etelvina Pech Chan y Gilberto Matos Mis, a mi hermano Luis Enrique Matos Pech, quienes siempre han estado conmigo en las buenas y malas, apoyándome con sus sabios consejos, compañía, en todo el desarrollo de mis estudios profesionales.

A mis maestros y asesores M.C. Enrique Arcocha Gómez y Dr. Noel Antonio González Valdivia, quienes estuvieron siempre dispuestos a ayudarme en todas las etapas del desarrollo de la Tesis, muchas bendiciones para ustedes, sin su apoyo, este proyecto profesional y de vida no hubiera sido posible.

A mis familiares, maestros y amigos, quienes de una u otra manera, me apoyaron y fueron de bendición en alguna etapa de mis estudios, Dios les conceda muchos y largos años de vida.

“Fíate de Jehová de todo tu corazón, Y no te apoyes en tu propia prudencia.

Reconócelo en todos tus caminos, Y él enderezará tus veredas. Proverbios 3:5-6”

Resumen

La agricultura actual, requiere fertilizantes de menor impacto ambiental, por ello esta investigación explora el uso de tres abonos verdes en la Península de Yucatán: *Mucuna* (*Mucuna pruriens* L.), X'pelón (*Vigna unguiculata* L.) e Ib (*Phaseolus lunatus* L.), inoculadas o no, con endomicorrizas y bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno, comparadas con un testigo con arvenses incorporadas al suelo en el cultivo de maíz nativo X'mejen Naal. El experimento se condujo bajo un diseño de bloques completos al azar en arreglo bifactorial en un suelo luvisol férrico. Los resultados indicaron una mejor relación carbono-nitrógeno en el abono verde con *M. pruriens*. El X'pelón produjo más biomasa (6.25 t ha^{-1}), contenido de nitrógeno ($104.20 \text{ kg ha}^{-1}$), fósforo (15.73 kg ha^{-1}) y potasio ($127.33 \text{ kg ha}^{-1}$), y por tanto representó una fuente de fertilización alternativa. Los efectos de los abonos verdes en comparación con fertilización a base de 200 kg ha^{-1} fosfato diamónico (DAP), no causaron diferencias significativas en el contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica, características de pH, contenido macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y Na), micronutrientes (B, Fe, Mn, Cu, Zn), suma bases intercambiables (meq/100 g) y la relación C/N en el suelo. El maíz X'mejen Naal, incrementó la producción de materia fresca y seca en el maíz, por efecto de la inoculación de los abonos verdes. Los mejores tratamientos fueron *P. lunatus* y ARDAP respecto al peso fresco (1162 y 1251 g), materia seca (168.6 y 163.6 g), biomasa aérea seca (7.3 y 8.3 Mg ha^{-1}) del maíz. Aunque no existieron diferencias estadísticas en el rendimiento, todos los tratamientos alcanzaron a expresar el potencial de maíz X'mejen Naal, lo cual sugiere que los abonos verdes estudiados pueden representar una alternativa ecológica a la fertilización convencional en el estado de Campeche. Las leguminosas estudiadas presentan alta rusticidad y adaptabilidad ambiental, potencial para recuperar suelos degradados y aportar macro y micronutrientes al cultivo de maíz, son una opción para el rescate del sistema milpa y la soberanía alimentaria en el estado de Campeche.

Palabras clave: agroecología, germoplasma de maíz, leguminosas, Península de Yucatán, suelos tropicales.

Effect of green manures on the agronomic characteristics of the native maize X'mején Naal in Luvisoles ferricos de Campeche, Mexico

Abstract

Current agriculture requires fertilizers with less environmental impact, therefore this research explores the use of three green manures in the Yucatan Peninsula: *Mucuna* (*Mucuna pruriens* L.), X'pelón (*Vigna unguiculata* L.) and Ib (*Phaseolus lunatus* L.), inoculated or not, with endomycorrhizae and beneficial nitrogen-fixing bacteria, compared with a control with weeds incorporated into the soil in the X'mején Naal native corn crop. The experiment was conducted under a randomized complete block design in a bifactorial arrangement in an iron luvisol soil. The results indicated a better carbon-nitrogen ratio in the green manure with *M. pruriens*. The X'pelón produced more biomass (6.25 t ha⁻¹), nitrogen content (104.20 kg ha⁻¹), phosphorus (15.73 kg ha⁻¹) and potassium (127.33 kg ha⁻¹), and therefore represented a source alternative fertilization. The effects of green manures compared to fertilization based on 200 kg ha⁻¹ diammonium phosphate (DAP) did not cause significant differences in organic matter content, electrical conductivity, pH characteristics, macronutrient content (N, P, K, Ca, Mg and Na), micronutrients (B, Fe, Mn, Cu, Zn), add exchangeable bases (meq / 100 g) and the C / N ratio in the soil. X'mején Naal corn increased the production of fresh and dry matter in corn, due to the inoculation of green manures. The best treatments were *P. lunatus* and ARDAP regarding fresh weight (1162 and 1251 g), dry matter (168.6 and 163.6 g), dry aerial biomass (7.3 and 8.3 Mg ha⁻¹) of corn. Although there were no statistical differences in yield, all treatments managed to express the potential of X'mején Naal maize, which suggests that the green manures studied may represent an ecological alternative to conventional fertilization in the state of Campeche. The legumes studied present high rusticity and environmental adaptability, potential to recover degraded soils and provide macro and micronutrients to the corn crop, they are an option for the rescue of the milpa system and food sovereignty in the state of Campeche.

Keywords: agroecology, corn germplasm, legumes, Yucatan Peninsula, tropical soils.

Índice de contenido

Agradecimientos	vi
Dedicatoria	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	4
4. Hipótesis	6
5. Objetivos.....	7
5.1. Objetivo general.....	7
5.2. Objetivos específicos.....	7
6. Referencias	8
7. Capítulos.....	13
7.1 Capítulo 1. Abonos verdes ancestrales: <i>Phaseolus lunatus</i> y <i>Vigna unguiculata</i> potenciadores del agroecosistema milpa en Yucatán, México.....	13
7.2 Capítulo 2. Nutrientes en la biomasa seca de tres abonos verdes cultivados en luvisoles férricos de Campeche, México	37
7.3 Capítulo 3. Efecto de abonos verdes inoculados en las propiedades químicas de un luvisol férrico de Campeche, México	61
7.4 Capítulo 4. Efecto de tres abonos verdes en las características agronómicas del maíz nativo X'mején naal en Campeche, México.....	75
8. Conclusión.....	95
9. Anexos.....	96

Introducción

A nivel mundial, lograr la soberanía alimentaria es uno de los principales retos de los países en desarrollo, sin embargo, lograr este fin, es complicado si consideramos una población anual en continuo crecimiento, sumada a los problemas ambientales (Tian *et al.*, 2016). El desarrollo de las zonas urbanas y el cambio del uso del suelo, la disminución de la vegetación y el crecimiento poblacional, son factores que han ocasionado el agotamiento del agua subterránea, pues la demanda del recurso hídrico es necesaria para diversos usos, como son el consumo humano y la agricultura (Ojeda-Olivares *et al.*, 2019).

A su vez la agricultura intensiva y la deforestación, están ligadas a efectos secundarios como la erosión hídrica, misma que en a nivel mundial representa un valor cercano al 80%, con claros efectos en la disponibilidad de suelos productivos, que ponen en riesgo la producción de alimentos (Silva-García *et al.*, 2017; Cotler *et al.*, 2020). En México, los suelos erosionados se concentran principalmente en los estados de Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Jalisco, Guanajuato y Estado de México con un 8 al 13% de suelos dañados, con reducción de la materia orgánica, carbono del suelo y pérdida de nutrientes; lo que es capaz de disminuir los rendimientos en cultivos como el maíz en rangos de 0.47 a 2.6 ton ha⁻¹ (Cotler *et al.*, 2020).

En la Península de Yucatán, la ganadería y la agricultura son dos principales sectores con gran efecto tiene sobre la contaminación del suelos y mantos acuíferos, por el uso desmedido de agroquímicos, son los organoclorados, contaminación que es incrementadas hasta en un 30% por problemas como la deforestación (Polanco-Rodríguez *et al.*, 2018). La agricultura intensiva, el consumo excesivo de fertilizantes y la deforestación están ligadas a problemas con la erosión del suelo, el aumento de la temperatura, generando disminución en las precipitaciones anuales, de la cual dependen los productores de temporal (Guerrero y Guevara, 2021).

La pérdida productiva del suelo es suplida por lo general con fertilizantes sintéticos, que año con año aumentan los costos de producción superando el 100% en las actividades agrícolas (Alvarado-Teyssier *et al.*, 2018). Sin embargo, el abuso en el consumo de fertilizantes químicos, como fuente alternativa de nutrientes para los cultivos, especialmente el uso

ineficiente de fertilizantes nitrogenados ha ocasionado problemas relacionados con el calentamiento global por altas concentraciones de óxido nitroso proveniente de estas fuentes, sumado a la contaminación del suelo y contaminación de las reservas de agua del subsuelo (González-Estrada y Camacho Amador, 2017). Por lo cual es importante considerar fuentes alternativas en la fertilización convencional, como el uso de abonos orgánicos (Castellanos *et al.*, 2017). Siendo los más empleados el estiércol animal, compost, residuos vegetales y biofertilizantes, mismo que proporcionan gran cantidad de materia orgánica (Amanullah y Khan, 2015).

Los abonos verdes pueden emplearse como fuentes de nutrientes, estas son plantas con cualidades particulares, que son incorporadas al suelo cuando inician su floración, etapa en que se encuentra disponibles la mayor cantidad de nutrientes en su biomasa vegetal, estas mejoran la fertilidad del suelo, ayudando a reducir la compactación y la erosión (Tao *et al.*, 2017). Además, facilitan que los suelos degradados se recuperen al incorporar e incrementar la materia orgánica, representando una disminución en los costos de los insumos agrícolas, al sustituir parcial o totalmente nutrientes que por lo general son aportados por fertilizantes químicos (Niz *et al.*, 2018). En México existen pocos estudios realizados sobre el uso de abonos verdes en cultivos de interés económico, con miras a lograr una producción sostenible, con la cual se reduzcan los daños al ambiente (Astier *et al.*, 2017).

Es necesario considerar fuentes alternas a la fertilización convencional, con miras a la producción de alimentos más sanos, en los que se considera la salud de la población, como consumidor final. Es por ello, que en la presente tesis se estudió el contenido de nutrientes contenidos en la biomasa seca de tres leguminosas: Mucuna (*Mucuna pruriens* L.), Xpelón (*Vigna unguiculata* L.), e Ibes (*Phaseolus lunatus* L.) cultivadas como abonos verdes en luvisoles férricos característicos del estado de Campeche. Se analizó su efecto sobre algunas características químicas del mismo, así como el efecto de la fertilización con estos abonos verdes sobre las características agronómicas del maíz X'mejen Naal.

Antecedentes

En México se estima que cerca del 45% de los suelos se encuentran en algún grado de erosión, misma que ocasiona disminución en el contenido de nutrientes y bajos rendimientos, en cultivos básicos como el maíz y el frijol (Arroyo-Lambaer *et al.*, 2021). Se estima que las actividades agrícolas tienen un impacto sobre los procesos erosivos del suelo con 46%, esto como resultado del establecimiento de grandes extensiones de cultivos, que van a ligados a la deforestación de grandes áreas y la pérdida de la cobertura vegetal (Monjardín-Armenta *et al.*, 2017).

La pérdida de la capacidad productiva de los suelos ha ocasionado que los productores sean cada vez más dependientes de insumos agrícolas, como son los fertilizantes, muy necesarios para aumentar los rendimientos y la producción de alimentos. Sin embargo, para la elaboración de estos, se emiten grandes cantidades de dióxido de carbono y otros gases que contienen altas concentraciones de nitrógeno y azufre que aumentan la contaminación ambiental. De igual modo la aplicación inadecuada de estos, han ocasionado la contaminación del suelo por efectos de lixiviación de nitratos, salinidad y contaminación de reservas de agua subterránea (Savci, 2012).

Los altos costos para adquisición de fertilizantes y otros insumos agrícolas, son un manifiesto de la necesidad de hallar fuentes alternativas para la producción agrícola (Gilbert, 2014). Es importante retomar el rescate de semillas nativas de maíz y frijol, de las cuales México es considerado el centro de origen (Hernández *et al.*, 2020).

En la Península de Yucatán se cuenta con una reserva muy importante de semillas nativas, tanto de maíz, frijol y calabazas, mismas que han sido seleccionadas de generación en generación por productores de la región (Ku-Pech, 2019). Este vasto número de recursos genéticos, permiten su producción en diversas épocas del año, pues se cuenta con variedades de ciclo corto, mediano y largo con lo cual se obtienen alimentos para la familia campesina y pueden significar una estrategia para alcanzar la tan ansiada soberanía alimentaria, que hoy impera a nivel mundial (González-Valdivia *et al.*, 2017; Parraguez-Vergara *et al.*, 2018).

Justificación

La producción de alimentos sanos y de calidad para la creciente población mundial (Govindan, 2018). A su vez la pérdida de la fertilidad del suelo y los procesos de degradación, la contaminación de mantos acuíferos, el uso desmedido de fertilizantes y otros productos químicos son retos que, en conjunto, se deben solucionar en la actualidad, con miras asegurar la vida para las futuras generaciones (Ramírez-Hernández et al., 2018; Bisht y Chauhan, 2020).

Es necesario retomar los saberes ancestrales de las generaciones de antaño y sumarlas a los conocimientos actuales; con el fin de aprovechar al máximo el conocimiento de las técnicas de producción y el aprovechamiento total de los recursos naturales (Parraguez-Vergara et al., 2018), mediante sistemas agrícolas como milpa maya muy presente en comunidades mayas de centro América y la Península de Yucatán (Camacho-Pérez *et al.*, 2018; Drexler, 2021).

El uso de semillas nativas puede representar una opción para producción de alimentos con miras a lograr la soberanía alimentaria en países en desarrollo (Lapegna y Perelmuter, 2020). Estas tienen cualidades de adaptabilidad y tolerancia a muchas condiciones adversas del ambiente, mismas que en nuestra actualidad son más severas por el cambio climático; tal es el caso de la escasez de lluvias o el tiempo prolongado de sequías, factores que limitan la producción la producción agrícola (Erickson y Halford, 2020; Leyva *et al.*, 2021)

En la Península de Yucatán, se cuenta con gran variabilidad de maíces nativos y otras especies vegetales de alto valor nutricional, (Ku-Pech, 2019; Ramírez-Silva *et al.*, 2020) tal es el caso de las leguminosas mismas que pueden ser empleadas en programas de manejo alternativo en la fertilización, al tener potencial para ser usadas como abonos verdes, mediante la incorporación de su biomasa vegetal al suelo, y el respectivo aporte de materia orgánica, macro y micronutrientes (Lara-Ponce et al., 2012; Noriero-Escalante *et al.*, 2013).

La presente investigación, pretende involucrarse en estos temas de vital importancia, por una parte, la primera etapa se situará en la dinámica de los abonos verdes en el aporte de nutrientes, sobre suelos característicos del estado de Campeche y por otra parte se analizará de igual manera el efecto de estos abonos sobre características agronómicas del cultivo de maíz nativo, tomando en especial consideración el aspecto de los rendimientos. Con lo cual

se pueda brindar una recomendación sobre la rentabilidad de los abonos verdes en comparación con el manejo de fertilización convencional a base de fertilizantes químicos.

Hipótesis

La aplicación de tres diferentes abonos verdes de leguminosas inoculados o no, tendrán un efecto equiparable a los obtenidos con la fertilización convencional a base de fosfato diamónico sobre el rendimiento de grano y forraje, como en las demás características agronómicas del maíz nativo X´mejen Naal cultivado en un luvisol férrico del estado de Campeche.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de tres diferentes abonos verdes sobre el rendimiento de maíz nativo (X´mejen Naal) y en las características físicas, químicas y biológicas de un suelo Luvisol férrico del estado de Campeche.

Objetivos específicos

Evaluar el porcentaje de nutrientes incorporados al suelo por tres abonos verdes, en comparación con los aportes de fertilización convencional.

Evaluar si los tres diferentes abonos verdes estudiados causan efectos distintos en el rendimiento de grano y follaje ($t\ ha^{-1}$) del maíz nativo (X´mejen Naal).

Determinar comparativamente si el método de fertilización mediado por abonos verdes es capaz de una inducción que incremente o equipare el rendimiento de grano y follaje, así como en otras características agronómicas del maíz, con el mejor beneficio-costo, respecto al manejo convencional.

Referencias

- Alvarado-Teyssier, R., Aceves-Ruiz, E., Guerrero-Rodríguez, J. D., Olvera-Hernández, J. I., Bustamante-González, Á., Vargas-López, S., & Hernández-Salgado, J. H. (2018). Respuesta de variedades de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes fuentes de fertilización en el Valle de Puebla. *Terra Latinoamericana*, 36(1): 49–59. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.309>
- Amanullah, & Khan, A. (2015). Phosphorus and Compost Management Influence Maize (*Zea mays*) Productivity Under Semiarid Condition with and without Phosphate Solubilizing Bacteria. *Frontiers in Plant Science*, 6: 1083. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01083>
- Arroyo-Lambaer, D., Uscanga, A., Piña-Tejeda, V. M., Vázquez-Barrios, V., Reverchon, F., Rosell, J. A., Escalante, A. E., Peña-Ramírez, V. M., Benítez, M., & Wegier, A. (2021). Cognitive Maps Across Multiple Social Sectors: Shared and Unique Perceptions on the Quality of Agricultural Soils in Mexico. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.522661>
- Astier, M., Argueta, J. Q., Orozco-Ramírez, Q., González, M. V., Morales, J., Gerritsen, P. R., Escalona, M. A., Rosado-May, F. J., Sánchez-Escudero, J., Saldaña, T. M., Sánchez-Sánchez, C., Barrera, R. A., Castrejón, F., Morales, H., Soto, L., Mariaca, R., Ferguson, B., Rosset, P., Ramírez, H., ... González-Esquivel, C. (2017). Back to the roots: Understanding current agroecological movement, science, and practice in Mexico. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(3-4): 329–348. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1287809>
- Bisht, N., & Chauhan, P. S. (2020). Excessive and Disproportionate Use of Chemicals Cause Soil Contamination and Nutritional Stress. In *Soil Contamination—Threats and Sustainable Solutions*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94593>
- Camacho-Pérez, L., Martínez-Castillo, J., Mijangos-Cortés, J. O., Ferrer-Ortega, M. M., Baudoin, J. P., & Andueza-Noh, R. H. (2018). Genetic structure of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) landraces grown in the Mayan area. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65(1): 229–241. <https://doi.org/10.1007/s10722-017-0525-1>

- Castellanos, J. Z., Cano-Ríos, P., García-Carrillo, E. M., Olalde-Portugal, V., Preciado-Rangel, P., Ríos-Plaza, J. L., & García-Hernández, J. L. (2017). Hot Pepper (*Capsicum annuum* L.) Growth, Fruit Yield, and Quality Using Organic Sources of Nutrients. *Compost Science & Utilization*, 25(1): S70–S77. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2017.1362673>
- Cotler, H., Corona, J. A., & Galeana-Pizaña, J. M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: Una primera aproximación. *Investigaciones geográficas*, 101. <https://doi.org/10.14350/rig.59976>
- Drexler, K. (2021). Climate-Smart Adaptations and Government Extension Partnerships for Sustainable Milpa Farming Systems in Mayan Communities of Southern Belize. *Sustainability*, 13(6): 3040. <https://doi.org/10.3390/su13063040>
- Erickson, V. J., & Halford, A. (2020). Seed planning, sourcing, and procurement. *Restoration Ecology*, 28(S3), S219–S227. <https://doi.org/10.1111/rec.13199>
- Gilbert, N. (2014). Cross-bred crops get fit faster. *Nature*, 513(7518): 292–292. <https://doi.org/10.1038/513292a>
- González-Estrada, A., & Camacho Amador, M. (2017). Emission of greenhouse gases from nitrogen fertilization in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8): 1733–1745. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.698>
- González-Valdivia, N. A., Cetzal-Ix, W. R., Martínez-Puc, J. F., Burgos-Campos, M. A., Arcocha-Gómez, E., & Soria-Fregoso, M. J. (2017). Razas y variedades nativas de maíz (*Zea mays* L.) en la península de Yucatán, México. Instituto Tecnológico de Chiná. https://www.researchgate.net/profile/Noel_Gonzalez-Valdivia2/publication/336703129_Razas_y_variedades_nativas_de_maiz_Zea_mays_L_en_la_peninsula_de_Yucatan_Mexico/links/5dae37e192851c577eb96c99/Razas-y-variedades-nativas-de-maiz-Zea-mays-L-en-la-peninsula-de-Yucatan-Mexico.pdf
- Govindan, K. (2018). Sustainable consumption and production in the food supply chain: A conceptual framework. *International Journal of Production Economics*, 195: 419–431. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.003>

- Guerrero, V. T., & Guevara, F. C. (2021). Influence of Deforestation and Environmental Degradation on Agriculture in México. *Journal of Agriculture*, 5(1): 27–37.
- Hernández, S. C., Torres-Carral, G. A., Cruz-León, A., Salcedo-Baca, I., & Ramírez, L. V. (2020). Saberes tradicionales locales y el cambio climático global. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8): 1917–1928. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2748>
- Ku-Pech, E. M. (2019). La diversidad de maíz, frijol y calabaza en la milpa maya de Xoy, Peto, Yucatán. 120.
- Lapegna, P., & Perelmuter, T. (2020). Genetically modified crops and seed/food sovereignty in Argentina: Scales and states in the contemporary food regime. *The Journal of Peasant Studies*, 47(4): 700–719. <https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1732933>
- Lara-Ponce, E., Caso-Barrera, L., & Aliphath-Fernández, M. (2012). El Sistema Milpa Roza, Tumba y Quema de los Maya Itzá de San Andrés y San José, Petén Guatemala. *Ra Ximhai*, 8(2):71–92.
- Leyva, D., De la Torre, M., & Coronado, Y. (2021). Sustainability of the Agricultural Systems of Indigenous People in Hidalgo, México. *Sustainability*, 13(14): 8075. <https://doi.org/10.3390/su13148075>
- Monjardín-Armenta, S. A., Pacheco-Angulo, C. E., Plata-Rocha, W., & Corrales-Barraza, G. (2017). La deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México. *Madera y bosques*, 23(1): 7–22. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311482>
- Niz, A. I. S., Pereira, W. D. L., Avalos, D. F. L., Pérez, A. S. M., Oviedo, M. O. D. S., & López, E. M. (2018). Performance of varieties of green manure in conventionally used soil. *African Journal of Agricultural Research*, 13(36): 1874–1879. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13355>
- Noriero-Escalante, L., Ek-Dzib, J. V., & Hernández-Baltazar, I. (2013). La milpa en Yucatán, desde una perspectiva del buen vivir. *Veredas: Revista del Pensamiento Sociológico, Especial* (2):193–208.
- Ojeda-Olivares, E. A., Sandoval-Torres, S., Belmonte-Jiménez, S. I., Campos-Enríquez, J. O., Zignol, F., Reygadas, Y., & Tiefenbacher, J. P. (2019). Climate Change, Land Use/Land Cover Change, and Population Growth as Drivers of Groundwater

- Depletion in the Central Valleys, Oaxaca, México. *Remote Sensing*, 11(11): 1290. <https://doi.org/10.3390/rs11111290>
- Parraguez-Vergara, E., Contreras, B., Clavijo, N., Villegas, V., Paucar, N., & Ther, F. (2018). Does indigenous and campesino traditional agriculture have anything to contribute to food sovereignty in Latin America? Evidence from Chile, Peru, Ecuador, Colombia, Guatemala and México. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 16(4–5): 326–341. <https://doi.org/10.1080/14735903.2018.1489361>
- Polanco-Rodríguez, A. G., Riba-López, M. I., DelValls-Casillas, Á., Araujo-León, J. A., & Datta-Banik, S. (2018). Impact of pesticides in karst groundwater. Review of recent trends in Yucatán, Mexico. *Groundwater for Sustainable Development*, 7: 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.02.003>
- Ramírez-Hernández, H., Perera-Ríos, J., May-Euán, F., Uicab-Pool, G., Peniche-Lara, G., & Pérez-Herrera, N. (2018). Environmental Risks and Children's Health in a Mayan Community from Southeast of México. *Annals of Global Health*, 84(2): 292–299. <https://doi.org/10.29024/aogh.917>
- Ramírez-Silva, J. H., Moguel-Ordóñez, Y., Lozano-Contreras, M. G., & Ramírez-Jaramillo, G. (2020). Yield, Tryptophan and Lysine Content of Two Quality Protein Maize Varieties in Two Luvisols with Bio Fertilization in Yucatan, Mexico. *Open Access Library Journal*, 07(7): 1. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106572>
- Savci, S. (2012). Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment. *APCBEE Procedia*, 1: 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.03.047>
- Silva-García, J. T., Cruz-Cárdenas, G., Ochoa-Estrada, S., Estrada-Godoy, F., Nava-Velázquez, J., & Álvarez-Bernal, D. (2017). Pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del lago de Chapala, Michoacán, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(6): 117–128. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-08>
- Tao, J., Liu, X., Liang, Y., Niu, J., Xiao, Y., Gu, Y., Ma, L., Meng, D., Zhang, Y., Huang, W., Peng, D., & Yin, H. (2017). Maize growth responses to soil microbes and soil properties after fertilization with different green manures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101(3): 1289–1299. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7938-1>

Tian, J., Bryksa, B. C., & Yada, R. Y. (2016). Feeding the world into the future – food and nutrition security: The role of food science and technology. *Frontiers in Life Science*, 9(3): 155–166. <https://doi.org/10.1080/21553769.2016.1174958>

Capítulos

Capítulo 1

ABONOS VERDES ANCESTRALES: *Phaseolus lunatus* y *Vigna unguiculata* POTENCIADORES DEL AGROECOSISTEMA MILPA EN YUCATÁN, MÉXICO

ANCESTRAL GREEN MANURES: *Phaseolus lunatus* and *Vigna unguiculata* POTENTIATORS OF THE MILPA AGROECOSYSTEM IN YUCATAN, MEXICO

Abonos verdes en sistema milpa

¹Noel Antonio González-Valdivia, ^{1*}Gilberto Matos-Pech, ¹Enrique Arcocha-Gómez, ¹Mónica Beatriz

López-Hernández, ²Patricia Margarita Garma-Quen²,

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Maestría en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México. CP. 24520

²Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Avenida Universidad s/n, Colonia Buenavista, Campeche, Campeche, México. C.P. 24039

*matos240512@gmail.com

RESUMEN

El mal manejo de la aplicación de agroquímicos como fertilizantes en el sector agrícola a nivel mundial ha ocasionado, problemas ambientales presentándose la deforestación, erosión y la pérdida de la capacidad productiva del suelo. Por ello en la actualidad se han enfocado los estudios en la búsqueda de alternativas a la agricultura intensiva, para una explotación racional de los recursos naturales, algunos modelos ya aplicados son: los sistemas silvopastoriles, cultivos intercalados, manejo de policultivos y el uso de abonos orgánicos, los cuales son principales temas del presente estudio. En la península de Yucatán, la milpa, constituye un sistema de producción en donde se cultivan diversidad de especies vegetales, mismas que favorecen, el aporte de biomasa vegetal y el dinamismo de

nutrientes del agroecosistema, a la vez que satisface el abasto de alimentos. El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión sistemática del uso de leguminosas dentro del agroecosistema milpa, y su participación en el aporte biomasa y nutrientes. Después de efectuar una revisión de diversos estudios sobre el tema en artículos científicos accesibles en formato libre y publicados entre el 2000-2020. Se destaca la importancia de las leguminosas en el reciclaje de biomasa y nutrientes, así como el uso del frijol X'pelon (*Vigna unguiculata*) y el lb (*Phaseolus lunatus*) como cultivos asociados o abonos verdes dentro del agroecosistema ancestral conocido como milpa Maya en la Península de Yucatán.

Palabras clave: Abonos orgánicos, cultivos de cobertura, fertilización, policultivos, reciclaje de nutrientes.

ABSTRACT

The mismanagement of the application of agrochemicals such as fertilizers in the agricultural sector worldwide has caused environmental problems, including deforestation, erosion and the loss of the productive capacity of the soil. For this reason, studies have currently focused on the search for alternatives to intensive agriculture, for a rational exploitation of natural resources, some models already applied are: silvopastoral systems, intercropping, polyculture management and the use of fertilizers organic, which are the main topics of the present study. In the Yucatan peninsula, the milpa, constitutes a production system where a diversity of plant species are cultivated, which favor the contribution of plant biomass and the dynamism of nutrients of the agroecosystem, at the same time that it satisfies the food supply. The objective of this work was to carry out a systematic review of the use of legumes within the milpa agroecosystem, and their participation in the contribution of biomass and nutrients. After conducting a review of various studies on the subject in scientific articles accessible in free format and published between 2000-2020. The importance of legumes in the recycling of biomass and nutrients is highlighted, as well as the use of X'pelon beans (*Vigna unguiculata*) and lb

(*Phaseolus lunatus*) as associated crops or green manures within the ancestral agroecosystem known as Maya milpa in the Yucatan Peninsula.

Key words: Organic fertilizers, cover crops, fertilization, polycultures, nutrient recycling.

INTRODUCCIÓN

En Mesoamérica, la milpa es un sistema ancestral de producción agrícola de policultivos, presente en diversas regiones del país, teniendo como cultivos principales a calabazas, frijoles y maíz (Ku-Pech *et al.* 2020). En este agroecosistema cada cultivo asociado cumple diferentes funciones que dan equilibrio al conjunto. Las calabazas, por ejemplo, permiten manejar a las arvenses durante la etapa vegetativa del cultivo, al limitar el crecimiento de estas al competir por la luz y el espacio en el estrato herbáceo inferior. Por otro lado, la inclusión de leguminosas, como el “lb” o “lbes” en plural (*Phaseolus lunatus* L.) y el X’pelon (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), actúan simbióticamente, al emplear los tallos del maíz como tutor para sus guías, mientras sus raíces capaces de fijar nitrógeno y azufre, mejoran la absorción e intercambio de nutrientes (Ebel *et al.* 2017, Ku-Pech *et al.* 2020). De esta manera, el productor obtenía a su vez flores y frutos, como alimento en la etapa productiva del cultivo de las calabazas y granos tanto del maíz como de las leguminosas que participan en el sustento energético y proteico de la dieta campesina. Así, la milpa conforma un espacio agronómico dinámico y cultural donde convergen más de 25 especies vegetales simultáneamente, que favorecen el reciclaje de nutrientes y la restauración del suelo sin la adición de elementos externos (Ortiz-Timoteo *et al.* 2014). Además coexiste con la biodiversidad de fauna local como venados, armadillos o puercos de monte (kitam en Maya) que aunque consumen parte de la cosecha aportan nutrientes a partir de excretas, que funcionan como abonos para el suelo, además de proveer carne para la familia (Santos-Fita *et al.* 2013). La fertilización del suelo se basa entonces en la continua incorporación de residuos orgánicos al suelo.

En la actualidad, la milpa es uno de los sistemas de producción más estudiados como modelo de sustentabilidad agroecológica y base de la soberanía alimentaria, en regiones tropicales (Salazar-Barrientos *et al.* 2016). De las especies vegetales usadas en este agroecosistema, las leguminosas cumplen un papel fundamental, al proveer nutrientes al suelo, tanto por la fijación simbiótica de nutrientes como por las aportes de estas, a través de la descomposición de su biomasa vegetal (Uribe-Valle y Petit-Aldana 2007, Ku-Pech *et al.* 2020). De igual modo, la biodiversidad en la milpa propicia el manejo biológico de plagas y el equilibrio entre poblaciones por la interacción de organismos, tanto plagas de cultivos como sus enemigos naturales (Guzmán-Mendoza *et al.* 2016). Así las leguminosas funcionan como abonos verdes y fuente de estabilidad ecosistémica.

Los abonos verdes (AV) a veces utilizados como cultivos de cobertura, constituyen plantas que al ser incorporadas al suelo mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Son usados como fuente alterna de nutrientes en los cultivos, protegiéndolo de problemas como la erosión, a la vez que retienen mayor humedad en el suelo (Gómez-Gómez y González-Lutz 2018). Algunas especies reconocidas como AV incluyen a *Canavalia ensiformis* (L.), *Mucuna pruriens* (L.) y *Lablab purpureus* (L.) Sweet que pueden fijar un promedio de 72, 170 y 240 kg ha⁻¹ de nitrógeno en el suelo, respectivamente (Kaizzi *et al.* 2004, Beltrán-Morales *et al.* 2005; Martín-Alonso *et al.* 2017, Sosa-Rodriguez *et al.* 2019). Del mismo modo *Pisum sativum* L. cv Olympus, genera un aporte en biomasa de 5.2 Mg ha⁻¹ de MS, y 107.1 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 157 kg ha⁻¹ de potasio y 7.8 kg ha⁻¹ de fósforo (Karyoti *et al.* 2018).

Zavala-Sierra *et al.* (2018) y Naranjo-Landero *et al.* (2020) indican que además del uso como abono verde el frijol dolichos (*L. purpúreos*), el frijol yorimón (*V. unguiculata*); el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y *Sesbania herbácea* (P. Mill.) McVaugh, pueden ayudar en el manejo de arvenses en diversos cultivos. Al respecto, Aguilar-Jiménez *et al.* (2011) y Yanqui y Marcelino (2014) mencionan que la

cobertura con *Mucuna deerengiana* (Bort) Merr, *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb., *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth., *Desmodium ovalifolium* DC., lograron la recuperación de suelos degradados por la invasión de *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, en menos de un año de ser establecidos. Gómez-Gómez y González-Lutz (2018) mencionan que fertilizar los abonos verdes pueden ayudar a mejorar sus funciones refieren en la fijación del nitrógeno atmosférico.

Una vez descrita la importancia general de las leguminosas como abonos verdes, el objetivo del presente artículo fue ampliar el conocimiento sobre el uso el uso de las leguminosas y su participación como cultivos asociados o abonos verdes dentro del agroecosistema ancestral conocido como milpa Maya en la Península de Yucatán, México, mediante una revisión sistemática de literatura especializada.

METODOLOGÍA

Diseño. Se empleó el método de revisión sistemática de estudios científicos sobre la milpa mesoamericana y su participación en el reciclaje de nutrientes y biomasa, la asociación de leguminosas, con énfasis en el estudio del X'pelón (*V. unguiculata*), e lb (*P. lunatus*), ambas empleadas de manera ancestral en la milpa maya de la Península de Yucatán (Jahan *et al.* 2016).

Búsqueda de información. A partir de las bases datos indexadas y de acceso abierto; Google académico, Scielo, Dialnet y Redalyc, mediante las palabras clave, "sistema milpa" +"reciclaje de nutrientes", "Leguminosas" +"Península de Yucatán", Leguminosas" +"como abonos verdes" +"milpa", "abonos verdes", "*Phaseolus lunatus*", "*Vigna unguiculata*", "*Vigna unguiculata*" +"abono verde", "*Phaseolus lunatus*" +"abono verde", "green manures" +"milpa". Se incluyeron artículos científicos accesibles en formato libre y publicados entre el 2000-2020. Se incluyeron documentos en idioma inglés y español, adicionalmente se analizaron las referencias de los documentos seleccionados, con

la finalidad de rescatar información adicional, que permitiera el desarrollo de la temática de estudio (Jahan *et al.* 2016).

Criterios de inclusión y exclusión. Se consideraron estudios relacionados con el tema principal, incluyendo únicamente artículos científicos publicados en revistas indizadas en el periodo predefinido, empleando filtros por fecha de las bases de datos. Como sugieren Jonnalagadda *et al.* (2015) y Jahan *et al.* (2016), se excluyeron, artículos no indizados, artículos de revisión y literatura gris (tesis, memorias de congreso) y toda información que no tuviera relación con el tema de estudio y los criterios mencionados.

Extracción de los datos. La revisión de la literatura identificó un total de 829 publicaciones de diversas bases de datos, de los cuales se generó un cúmulo de 164 estudios, con exclusión de investigaciones no relevantes con la temática de estudio. Para la selección final de documentos, se analizaron los resúmenes y documentos completos, obteniendo un total de 72 artículos científicos. Con base en Cidón *et al.* (2021), los resultados de la revisión y análisis de la información fueron organizados en subtemas, que para este estudio fueron: a) El sistema milpa y el reciclaje de biomasa y nutrientes, b) Las leguminosas en la milpa maya en la Península de Yucatán, c) Las leguminosas como abonos verdes en la milpa maya y d) El X'pelon y el lb como abonos verdes.

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

EL SISTEMA MILPA Y EL RECICLAJE DE BIOMASA Y NUTRIENTES

La milpa es un sistema agrícola en el que convergen diversidad de cultivos anuales o perennes, con áreas de producción generalmente menores que 3 hectáreas tanto en tierras planas como en laderas (Regalado-López *et al.* 2020). Se han reportado más de 58 especies de cultivos asociados en este agroecosistema con el maíz, el frijol, la calabaza, los frutales y la yuca como los principales (Mateos-Maces *et al.* 2016). El sistema milpa itinerante, se refiere al sistema de roza, tumba y quema, que

permite cultivos mayoritariamente anuales, seguido de amplios periodos de descanso de la tierra (barbecho), que es practicado desde hace al menos 5 mil años por poblaciones de Mesoamérica, y que está ampliamente extendido en México. El sistema se basa en el corte de herbáceas, bejucos y lianas del sotobosque (roza), seguido del corte del arbolado (tumba) y luego la quema de los residuos, para consecutivamente realizar la siembra de los cultivos (Lara-Ponce *et al.* 2012). Así la milpa forma parte de un sistema agroforestal en secuencia, a través del cual se maneja el bosque como fuente restauradora de los suelos, donde este depende de la materia orgánica y su reciclaje biológico para mantener su fertilidad natural (Ebel 2018).

La diversidad de especies cultivadas y su interacción, favorece el reciclaje de nutrientes al permitir el desarrollo de variedad de plantas e insectos, mismos que participan en la descomposición de materia orgánica y regulan la presencia de plagas dentro del cultivo. Las especies arvenses toleradas dentro de la milpa proveen alimento como quelites o herbáceas comestibles (Ej.: *Amaranthus hybridus* L., *Portulaca oleracea* L.) mientras otras arborescentes (Ej.: *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Guazuma ulmifolia* Lam.) proveen leña, postes para cercos o madera para construcción rural (Lara-Ponce *et al.* 2012; Ortiz-Timoteo *et al.* 2014).

Al respecto, García-Flores *et al.* (2016) y Álvez y Alayon-Luaces (2020) mencionan que las especies herbáceas y leñosas dentro de la milpa cumplen funciones de fijación de nutrientes en el suelo y en el manejo de umbrales mínimos de daño por competencia entre plantas y de plagas. Por lo cual, los mecanismos de manejo agroecológico de plagas se implementan de manera empírica, antes de que fuesen reconocidos como métodos agronómicos modernos. La milpa en la cual se intercala maíz con árboles frutales es viable para la reducción de la erosión del suelo, en zonas con pendientes y laderas con presencia de altas precipitaciones anuales (Camas-Gómez *et al.* 2012).

Ebel *et al.* (2017) y Plaza-Bonilla *et al.* (2018) compararon los cultivos maíz, calabaza y frijol en monocultivos y policultivos de estas. Los resultados señalan la eficiencia del empleo de asociaciones de cultivos característicos de la milpa, como las combinaciones maíz-frijol, que producen 90% más cosecha por área, en comparación con los monocultivos. La combinación maíz-frijol, generó la mayor altura y producción de biomasa foliar para ambas especies, debido a la mayor eficiencia fotosintética en la captación del CO₂. Esto demuestra que la productividad del sistema milpa es superior por la biodiversidad de especies cultivadas.

La gran diversidad de macroinvertebrados se ve favorecida por la diversidad de especies vegetales, y en los agroecosistemas donde predominan plantas leguminosas muestran un mayor número de órdenes. La mayor presencia de macroinvertebrados, es un indicador de abundancia de materia orgánica y de mayor fertilidad del suelo, pues favorecen la disponibilidad de nutrientes (Huerta-Lwanga *et al.* 2008). La presencia de lombrices de tierra tienen estrecha relación con la cantidad de materia orgánica contenida en el suelo, se recomienda la incorporación de materia orgánica a través de abonos verdes o cultivos de cobertura, para incrementar la riqueza de estas especies (Juárez-Ramón y Fragoso 2014).

Monedero y Alfonso (2003) evaluaron asociaciones de leguminosas con maíz, con la finalidad de conocer el efecto de estas sobre el rendimiento en maíz y en la biomasa producida por estas combinaciones. Los resultados demuestran un efecto positivo sobre el rendimiento del grano en el cultivo de maíz. De igual modo, la producción de biomasa y el reciclaje de nutrientes fue superior en las asociaciones maíz-leguminosas, en comparación con el monocultivo.

En la milpa se conservan importantes recursos fitogenéticos destacando razas y variedades nativas de maíz, frijol y calabazas, que por su adaptación y rusticidad a diversas condiciones climáticas, como la escasez de lluvias; permiten obtener una producción básica para la economía local. Estos

germoplasmas vegetales presentar variantes de ciclo precoz, intermedio a tardíos, que pueden ser establecidos en distintas épocas del año y además adecuarse a las dificultades que impone a la producción agroalimentaria el cambio climático, aportando resiliencia a los sistemas locales (González-Valdivia *et al.* 2016, Ku-Pech *et al.* 2020).

LAS LEGUMINOSAS EN LA MILPA MAYA EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

En la Península de Yucatán existen gran variedad de especies leguminosas, tanto en formas de árboles como arbustivas y herbáceas, incluyendo enredaderas; distribuidas en 78 géneros (Plasencia-Vázquez *et al.* 2017). En estudios etnobotánicos realizados por Flores (2002) reconocen 260 especies, divididas en tres subfamilias (*Mimosoideae*, *Caesalpinoideae* y *Papilionoidea*) que forman parte del monte, huerto o milpa. Las principales subfamilias tienen presencia en los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo, siendo el estado de Campeche el más representativo con 74%.

El uso de leguminosas es de carácter múltiple, DIO n cerca de 22 actividades en la milpa Maya de la Península de Yucatán, destacando: 147 melíferas, 110 forrajeras, 29 medicinales, 49 cercas vivas, 23 maderables, 31 ornamentales, 11 colorantes y 32 especies empleadas como alimento. De estas se puede emplear la planta completa; raíces, tallos, frutos, corteza, savia, frutos, semillas y parte aérea (Flores 2002). Especies como *Haematoxylum campechianum* L., (Palo de tinte, Palo de Campeche), eran empleadas en elaboración de tintes, producción de leña, forraje para el ganado y como flora melífera de la región (Plasencia-Vázquez *et al.* 2017).

Ayala-Sánchez *et al.* (2007) resaltan la importancia de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Caesalpinia yucatanensis* (Britton & Rose) Greenm, *Piscidia piscipula* (L.) Sarg, *Pithecellobium albicans* (Kunth) Britton & Rose, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp y *Acacia gaumeri* S.F.Blake; con gran aporte de biomasa vegetal y por su potencial para ser empleadas en la recuperación de suelos degradados, al ser usadas como modernos sistemas de barbecho. Mejorando los rendimientos

en maíz, hasta en dos ciclos. Son especies que presentan una gran capacidad de rebrote y regeneración, en especial las especies *A. gaumeri*, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Mimosa bahamensis* Benth, *P. piscipula* y *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth, pueden tener presencia hasta 25 años después de su establecimiento en el terreno. Además de ser plantas tolerantes a la sequía, y capaces de rebrotar y crecer rápidamente a partir de tocones, no es extraño que estén presentes de manera dominantes dentro de los sistemas de milpa y la sucesión post agrícola (acahual).

La importancia de las leguminosas en la milpa, se debe en parte al reciclaje de nutrientes, por la acumulación y descomposición de abundante biomasa vegetal rica en nitrógeno. Ayala-Sánchez *et al.* (2007), mencionan a especies como *Leucaena*, con capacidad para mejorar los contenidos de K, Ca y Mg, junto con *Mucuna pruriens* con aportes de nitrógeno (N) al suelo, en barbechos de dos a cuatro años.

Especies como mucuna (*M. pruriens*), canavalia (*C. ensiformis*), *Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & H. Ohashi), lb (*P. lunatus*) y el X'pelón (*V. unguiculata*), pueden contribuir al manejo agroecológico de los recursos naturales (Aguilar-Cordero *et al.* 2008). Al respecto, Uribe-Valle y Petit-Aldana (2007) y Martínez-Bernal *et al.* (2011) mencionan, que la actividad de quema, muy empleado en la milpa, favorece la disponibilidad de elementos como el fósforo, potasio, calcio y las condiciones de pH, además de incrementar la materia orgánica del suelo. Asimismo, especies leguminosas dentro de géneros como *Cajanus* DC. y *Rhynchosia* Lour. *Cajanus*, ayudan en la regeneración de la fertilidad de suelos degradados, además de servir como plantas forrajeras.

Dentro de las principales especies de leguminosas comestibles aún conservadas por los campesinos en la Península de Yucatán, destacan *P. vulgaris*, *P. lunatus* y *V. unguiculata*. Dentro de las variedades nativas más conocidas están: Xcolibu'ul (36%), Tsamá (21.3%) y Jamapa (8.0%) de *P. vulgaris*. Seguidas en importancia por el lb (*P. lunatus*) con un 28% de representación, con el Sac ib (18.7%),

Chac ib (7.3%) y Xpinto ib (2%). Por último, se encuentra el X'pelon (*V. unguiculata*) con el 6.6%, representado por las variedades Xnuc pelón (5.3%) y Xmejen pelón (1.3%). Esta alta diversidad, es lo que ha permitido a los productores asegurar su producción, al contar plantas que se adaptan a diferentes condiciones ambientales, de tal manera que se reducen pérdidas y se asegura contar con alimentos suficientes para el abasto familiar (Latournerie-Moreno *et al.* 2005). Es importante señalar la importancia del frijol ib junto con el X'pelon, dentro del sistema milpa desde la época prehispánica, con variedades que se cultivan hasta la actualidad y forman parte de la gastronomía regional (Gutiérrez-Carbajal *et al.* 2019).

Estudios realizados por Agostini-Costa *et al.* (2014) y Marrugo-Ligardo *et al.* (2016) en granos de *P. lunatus* y *V. unguiculata*, los ubicaron con grandes aportes de proteína y capacidad antioxidante (presencia de polifenoles), recomendando su uso actual como alimentos altamente nutritivos para población. Además de tener capacidad de ser utilizados como fuente de nutrientes para los cultivos.

LAS LEGUMINOSAS COMO ABONOS VERDES EN LA MILPA MAYA

En el sistema milpa, la inclusión de especies nativas de leguminosas como cultivos asociados, tolerantes a distintos estreses ambientales, han permitido el manejo de policultivos con maíz y otras especies que se complementan por sus requerimientos nutricionales e intercambio de nutrientes en el suelo (Aguilar-Cordero *et al.* 2008). En la actualidad este manejo es conocido, como abonos verdes, y en el agroecosistema, tienen diferentes funciones en el aporte de nutrientes, materia orgánica de descomposición lenta o rápida, equilibrio de nutrientes con alta disponibilidad, movilización de nutrientes poco asimilables, como alimento para el ganado, control de plagas y arvenses. Las leguminosas y gramíneas, se encuentran dentro de las más usadas para este fin (Toro *et al.* 2008, Prager-Mósquera *et al.* 2012).

Ayala-Sánchez *et al.* (2009), evaluaron la capacidad de *C. ensiformis* y *M. pruriens* como cultivos de cobertura en asociación con maíz y reportaron una disminución del rendimiento, durante su uso temprano en el cultivo y la mayor productividad y manejo de arvenses en barbechos de dos años. Existe un gran potencial para el aprovechamiento de especies leguminosas arbustivas nativas *L. leucocephala* y el *taa k'in che'* [*Caesalpinia yucatanensis* (Britton & Rose) Greenm.], para servir como abonos verdes, en sistemas con barbechos cortos (2 a 4 años) de la Península de Yucatán, debido a su rápido desarrollo y supervivencia regional, mismos que pueden mejorar los rendimientos en el cultivo de maíz, con lo cual se puede aprovechar al máximo su uso en luvisoles férricos, evitando con ello la deforestación (Haggar *et al.* 2000, Ayala-Sánchez *et al.* 2007).

La lenta liberación de nutrientes disponibles para los cultivos es una desventaja de los AV, que puede cambiar a largo plazo. Las leguminosas son importantes en la captura de carbono en el suelo y la reducción de CO₂ atmosférico por tanto coadyuvan a reducir las causas del cambio climático (Plaza-Bonilla *et al.* 2018).

En la milpa Maya de la Península de Yucatán, existe una amplia variabilidad genética en maíces, frijoles y calabazas nativas, que cumplen diferentes funciones dentro del agroecosistema milpa. Las cucurbitáceas como cobertura disminuyen la presión de las arvenses en el estrato herbáceo mientras los frijoles además de cumplir con esta misma función fijan nitrógeno, fósforo y azufre simbióticamente y ambos tipos de cultivos incrementan la biomasa rica en nutrientes que se incorpora al suelo al término del ciclo de cultivo (Lara-Ponce *et al.* 2012, Ku-Pech *et al.* 2020). La fijación simbiótica de nutrientes por los AV puede mejorarse con la adición de fertilizantes externos, particularmente en variedades de leguminosas de semillas pequeñas, mismas que predominan en la milpa Maya, como es el caso de *P. vulgaris*, *P. lunatus* y *V. unguiculata* (Latournerie-Moreno *et al.* 2005).

Cuanalo y Uicab-Covoh (2005) mencionan que especies como los lbes, han sido utilizados simultáneamente, como abonos verdes y como medio para la reducción de arvenses dentro de la milpa, al mismo tiempo, que sirven como alimento para la población local. Motivo por el cual, esta especie es preferida a otros abonos verdes. Castillo-Caamal y Caamal-Maldonado (2011) afirman que el uso combinado de frijoles ibes con maíz, no limita la producción de cultivo principal, como sucede con otros abonos verdes (p.ej.: *M.pruriens*) que puede ejercer competencia y disminuir los rendimientos en los primeros años.

EL X'PELON Y EL IB COMO ABONOS VERDES

En la Península de Yucatán, el frijol Ib (*P. lunatus*), junto con el Xpelón (*V. unguiculata*), representan especies de leguminosas incluidas dentro del sistema ancestral de la milpa Maya (Ku-Pech *et al.* 2020). Han permanecido dentro del policultivo asociado a este agroecosistema hasta la actualidad, y forman parte de la gastronomía regional (Gutiérrez-Carbajal *et al.* 2019). El frijol Ib (*P. lunatus*), puede cultivarse en monocultivo o como cultivo asociado al maíz, y como este presenta alta diversidad morfológica y genética, como resultado de la adaptación a distintas condiciones ambientales en las regiones de cultivo (López-Alcocer *et al.* 2016). Se puede cultivar en suelos pobres incluyendo los de tipo arenoso y las variedades de crecimiento indeterminado presentan los mayores rendimientos (Alves da Silva *et al.* 2019).

P. lunatus y *V. unguiculata*, presenta tolerancia a suelos con problemas de salinidad y a niveles de estrés hídrico de hasta el 50% evapotranspiración, lo cual indica, la capacidad de esta leguminosa en el aprovechamiento del consumo de agua por unidad de dióxido de carbono asimilado, mediante los mecanismos de cierre y apertura estomática (Souza *et al.* 2011, Pereira-Filho *et al.* 2019). En el caso de *V. unguiculata* ha demostrado resistencia a condiciones de estrés hídrico (tensiones hídricas del suelo cercanas a 1.145 MPa), presentando al igual que el Ib resistencia a este factor ambiental (Farias

de Melo *et al.* 2020, Kanda *et al.* 2020). Estos son aspectos de suma importancia al momento de seleccionar una especie vegetal para ser empleada como abono verde. Presentando estas especies, incluso cierta resistencia a suelos compactos, al presentar una tasa fotosintética más alta (Da Silva-Souza *et al.* 2018).

En la Península de Yucatán, *P. lunatus*, es una especie que se encuentra en riesgo de pérdida genética, por lo cual es necesario implementar programas de rescate y conservación de las variedades locales (Martínez-Castillo *et al.* 2008). En este sentido, Córdova-Sánchez *et al.* (2013) realizaron estudios en el estado de Tabasco, México, con la finalidad de cuantificar los aportes de nitrógeno con abonos verdes de leguminosas locales. Los resultados muestran una acumulación total de 46.96 kg ha⁻¹ de nitrógeno y una fijación de 35.22 kg ha⁻¹ de N, con *P. lunatus* considerado significativo para un aporte de nitrógeno en cultivos básicos, como el maíz.

Castillo-Caamal *et al.* (2010) evaluaron a *P. lunatus* de ciclo corto, a *P. lunatus* de ciclo largo, y a *Mucuna* sp., como cultivos de cobertura, intercalados con maíz bajo condiciones de temporal en Yucatán, sin encontrar diferencias significativas sobre los rendimientos, aunque las leguminosas aportaron diferencialmente nitrógeno al cultivo (31.9, 52.9 y 43.4 kg ha⁻¹ de nitrógeno respectivamente).

Por otra parte, Cavalcante-Barros *et al.* (2020) indican que *V. unguiculata*, *Arachis hypogaea* L. y *P. vulgaris*, *Crotalaria juncea* L., y *Stylobium aterrimum* L. (STA), tienen la capacidad de mantener los contenidos de carbono (C) y nitrógeno (N) del suelo, aun después del cultivo de maíz, con una gran capacidad en la descomposición de la materia orgánica. Resaltando el efecto de *V. unguiculata*, *A. hypogaea* y *P. vulgaris* como generadoras de riqueza o abundancia microbiana en el suelo.

Ambrosano *et al.* (2018), señalan que el uso de *V. unguiculata*, intercalado, como cultivo de cobertura, en el cultivo de tomate Cherry, no manifestó efectos negativos sobre la calidad de fruta. Y estudios

realizados en Caña de azúcar, intercalada con frijol X'pelón (*V. unguiculata*), demostraron efectos en la reducción de arvenses, mayor retención de humedad, gran aporte de biomasa seca (14.5 Mg ha^{-1}), además de generar mayor productividad en toneladas de caña por hectárea (131.5 Mg ha^{-1}) y en el total de azúcar por hectárea (15.5 Mg ha^{-1}), representando un incremento en términos económicos del 20%. De este modo, la técnica de intercalado con abonos verdes en cultivos, puede ser una técnica capaz de contribuir al desarrollo sustentable (Sanclemente-Reyes *et al.* 2015). Al disminuir el uso de fertilizantes y agroquímicos para el control de arvenses, presentes en el cultivo.

Beltrán-Morales *et al.* (2009), evaluaron el potencial como abono verde de *V. unguiculata*, indicando aportes proporcionales de NPK, de 100 mg kg^{-1} , 0.11 mg kg^{-1} y $30.814 \text{ mg kg}^{-1}$, además de un incremento de 0.215% en el aporte de materia orgánica, bajo diferentes sistemas de labranza. Es importante considerar que, en el manejo de la milpa, las actividades de labranza son mínimas, lo cual no limita el desarrollo de los cultivos.

En cuanto a la fertilización Pereira-Brito *et al.* (2011) mencionan que *V. unguiculata*, no es un factor condicionante en el rendimiento y producción. Y que un aumento de la fertilización a base de Urea incluso puede generar una disminución en la fijación simbiótica de nitrógeno. Por lo cual, esta especie es capaz de producir en suelos con deficiencia de macroelementos; como el nitrógeno. Mientras que Gómez *et al.* (2002), afirman, que diversos genotipos de *V. unguiculata*, tienen gran capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico, aún en suelos con deficiencias de fósforo.

Los factores de resistencia al estrés hídrico y al déficit de nutrientes presentes en *V. unguiculata*, además de gran capacidad forrajera ($6.39\text{-}9.03 \text{ Mg ha}^{-1}$ de MS), le confieren características para su inclusión en programas de mejoramiento de suelos como abonos verdes o para uso en sector pecuario para la alimentación en rumiantes (Paz *et al.* 2017, Aamir-Iqbal *et al.* 2018). Aunque no se recomienda su cultivo con más de una semilla por sitio al momento de la siembra, pues las altas densidades

(mayores a 60 mil plantas ha⁻¹) pueden generar disminución en el rendimiento de biomasa (Guillén-Trujillo *et al.* 2016).

Sakai *et al.* (2011) lograron usar a *V. unguiculata*, como fuente de fertilización en lechuga, como cultivo intercalado, logrando aportes de 0.45 y 5.65 Mg ha⁻¹ de MS, con una transferencia del 18%, 17% y 7% de N, respectivamente al cultivo de lechuga, generando un aumento en los rendimientos la masa fresca. De igual modo, Castro-Rincón *et al.* (2018), evaluaron en la producción de forraje de maíz, logrando un aporte aproximado de 35 a 85 kg ha⁻¹ de Nitrógeno. Por otra parte, Balota y Días-Chaves (2010) evaluaron la inclusión del abono verde de *V. unguiculata*, como cultivo intercalado en cafetos, con aportes cercanos a los 75 kg ha⁻¹ de nitrógeno anuales, a través de su biomasa vegetal.

Estudios recientes, realizados por Matos *et al.* (2020) en suelos tipo luvisol férrico en Campeche, México sugieren que, los abonos verdes *V. unguiculata* y *P. lunatus* (Tabla 1) tanto inoculados o no con endomicorizas y bacterias fijadoras de nitrógeno, son capaces de satisfacer la demanda de macro y micronutrientes para el cultivo de maíces nativos (X'mejen naal), en igualdad proporción que la fertilización con 200 kg ha⁻¹, de fosfato diamónico, muy empleado en la región. Además resaltan que los aportes en azufre en la biomasa vegetal de ambas especies, puede favorecer la asimilación del fósforo en suelos de tipo calcáreo como los presentes en la Península de Yucatán, mismo que por sus altas concentraciones de calcio, se vuelve antagónico de este elemento, y otros como el K y Mg.

Es importante mencionar que *V. unguiculata* y *P. lunatus*, y sus poblaciones silvestres se encuentran distribuidas principalmente en la regiones tropicales y subtropicales, abarcando las zonas norte y sur de México, en los estados de la Península de Yucatán. En donde se registra una gran variabilidad genética, como parte del manejo local que se ha llevado a cabo, durante siglos. Son especies consideradas con gran valor nutricional. A su vez son especies con necesidad de planes de rescate *in*

situ y *ex situ*, que permitan su conservación y producción (Andueza-Noh *et al.* 2016, Dos Santos *et al.* 2020).

Ambas leguminosas presentan gran capacidad de adaptación, resistencia y sobrevivencia aun en suelos con problemas de erosión y degradación, con problemas como la compactación y salinidad (Souza *et al.* 2011, Pereira-Filho *et al.* 2019). Lo cual sugiere que, en regiones tropicales como la Península de Yucatán, en donde predominan suelos de tipo calcáreo, son especies idóneas para su inclusión en programas de fertilización, como abonos verdes (Gómez *et al.* 2002, Gutiérrez-Carbajal *et al.* 2019). El mayor aprovechamiento de estas leguminosas se refleja mediante la incorporación al suelo de la biomasa vegetal, evitando con ello, la competencia con el cultivo principal y aprovechando el aporte nutricional, de gran beneficio para diversos cultivos; como el maíz, caña de azúcar y algunas hortalizas como el tomate.

CONCLUSIONES

Las leguminosas proveen de nutrientes a la planta de maíz y otros cultivos establecidos dentro de la milpa, a través del nitrógeno atmosférico acumulado en la biomasa aérea de las plantas y la posterior descomposición de la biomasa vegetal, capacidad que es aprovechada en la actualidad a través de los abonos verdes, este reciclaje de nutrientes se realiza de manera cíclica y en conjunto con otras especies vegetales cultivadas en la milpa. *V. unguiculata* y *P. lunatus*, se han conservado a través del tiempo en la Península de Yucatán, región en donde predominan suelos de tipo calcáreo. Estas muestran alta rusticidad y adaptabilidad ambiental, por lo que pueden ser incluidas en programas de recuperación de suelos degradados, fertilización como abonos verdes al aportar macro y micronutrientes al suelo. Estas especies representan un importante germoplasma que en combinación con el agroecosistema milpa Maya son capaces de contribuir a la soberanía alimentaria en las regiones tropicales como la Península de Yucatán.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT, por la beca otorgada al primer autor. Al Tecnológico Nacional de México, por financiar este experimento con el proyecto (8724.20-P) “Efecto de abonos verdes sobre las características agronómicas del maíz nativo X’mejen Naal en Luvisoles férricos de Campeche, México”. Al laboratorio de agroecología y agricultura orgánica sustentable del Instituto Tecnológico de Chiná por las facilidades otorgadas.

LITERATURA CITADA

- Aamir-Iqbal M, Siddiqui MH, Afzal S, Ahmad Z, Maqsood Q, Dildar-Khan R (2018) Forage productivity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cultivars improves by optimization of spatial arrangements. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 9: 203–219. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4335>
- Agostini-Costa TDS, Teodoro AFP, Alves RBDN, Braga LR, Ribeiro IF, Silva JP, *et al.* (2014). Total phenolics, flavonoids, tannins and antioxidant activity of lima beans conserved in a Brazilian Genebank. *Ciência Rural* 45: 335–341. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140030>
- Aguilar-Cordero W, Baños-Ramírez O, Quezada-Domínguez D, Gurri-García F, Castillo-Caamal JB (2008). Yaxcol y sus estrategias adaptativas de sobrevivencia campesina con un enfoque agroecológico en Sahcabá, Hocabá, Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 8: 29–36.
- Aguilar-Jiménez CE, Tolón-Becerra A, Lastra-Bravo XB (2011) Agri-environmental evaluation of traditional and alternative corn production systems in Chiapas, Mexico. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)* 112: 71–86.
- Alves da Silva SI, Sousa T, Santos D, Da Silva Souza RF (2019) Avaliação dos componentes de produção em variedades crioulas de fava cultivadas no Agreste da Paraíba. *Revista de Ciências Agrárias* 42: 151–160. <https://doi.org/10.19084/rca.16956>
- Alvez NV, Alayon-Luaces P (2020) Evaluación de policultivos frutihortícolas agroecológicos del Nordeste Argentino. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 55: 273–284. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v55.n2.26899>
- Ambrosano EJ, Salgado GC, Otsuk IP, Patri P, Henrique CM, Tavares de Melo PC (2018) Organic cherry tomato yield and quality as affect by intercropping green manure. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 40: e36530. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.36530>
- Andueza-Noh RH, Camacho-Pérez L, Martínez-Castillo J, May-Pat F (2016) Distribución geográfica de los parientes silvestres del acervo genético mesoamericano del frijol lima (*Phaseolus lunatus* L.) en México. *Polibotánica* 41: 101–113. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.41.7>
- Ayala-Sánchez A, Krishnamurthy L, Basulto-Grael JA (2009) Legumes as Cover Crops to Improve and Sustain Corn Productivity in the Southern Yucatan. *Terra Latinoamericana* 27: 63–69.
- Ayala-Sánchez A, Krishnamurthy L, Basulto-Grael JA, Rodríguez JAL (2007) Leguminosas arbustivas nativas para mejorar la agricultura maicera itinerante de Yucatán. *Terra Latinoamericana* 25: 195–202.

- Balota EL, Dias-Chaves JC (2010) Enzymatic activity and mineralization of carbon and nitrogen in soil cultivated with coffee and green manures. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo* 34: 1573–1583. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000500010>
- Beltran-Morales FA, Garcia-Hernandez JL, Ruiz-Espinoza FH, Fenech-Larios L, Murillo-Amador, B., Palacios-Espinoza A, *et al.* (2009) Nutritional potential of red dolichos, brown dolichos and cowpea for green manure produced under three tillage systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 487–495.
- Beltrán-Morales FA, García-Hernández JL, Valdez-Cepeda RD, Murillo-Amador B, Troyo-Dieguez E, Larrinaga-Mayoral J, *et al.* (2005) Sistemas de labranza, incorporación de abono verde y recuperación de la fertilidad de un Yermosol háplico. *Terra Latinoamericana* 23: 381–387.
- Camas-Gómez R, Turrent-Fernández A, Cortés-Flores JI, Livera-Muñoz M, González-Estrada A, Villar-Sánchez B, *et al.* (2012) Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 3: 231–243.
- Castillo-Caamal JB, Caamal-Maldonado JA (2011) Efecto de la fecha de siembra del frijol terciopelo (*mucuna* sp.) como cultivo de cobertera en el rendimiento de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 101–108.
- Castillo-Caamal JB, Caamal-Maldonado JA, Jiménez-Osornio JJM, Bautista-Zúñiga F, Amaya-Castro MJ, Rodríguez-Carrillo R (2010) Evaluación de tres leguminosas como coberturas asociadas con maíz en el trópico subhúmedo. *Agronomía Mesoamericana* 39–50. <https://doi.org/10.15517/am.v21i1.4910>
- Castro-Rincón E, Mojica-Rodríguez JE, Carulla-Fornaguera JE, Lascano-Aguilar CE (2018) Evaluación de leguminosas como abono verde en cultivos forrajeros para ganaderías en el Caribe seco colombiano. *Agronomía Mesoamericana* 29: 597–617. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.32350>
- Cavalcante-Barros VD, Lira-Junior MA, Cury-Fracetto FJ, Monteiro-Fracetto GG, Da Silva-Ferreira J, De Barros D, *et al.* (2020) Effects of different legume green manures on tropical soil microbiology after corn harvest. *Bragantia* 79: 505–515. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200262>
- Cidón CF, Figueiró PS, Schreiber D (2021) Benefits of Organic Agriculture under the Perspective of the Bioeconomy: A Systematic Review. *Sustainability* 13: 6852. <https://doi.org/10.3390/su13126852>
- Córdova-Sánchez S, Castelán-Estrada M, Cárdenas Navarro R, Lobbit-Phellipe C, Peña Cabriaes J, Vera-Nuñez J, *et al.* (2013) Fijación biológica de nitrógeno por cuatro fabáceas en suelos ácidos de Tabasco, México. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo* 45: 1–9.
- Cuanalo HE, Uicab-Covoh RA (2005) Investigación participativa en la milpa sin quema. *Terra Latinoamericana* 23: 587–597.
- Da Silva-Souza RF, Santos D, Pereira WE, Lopes-De Macedo F, Vendruscolo J (2018) Gas exchange and photochemical efficiency in lima bean genotypes grown in compacted soils. *Revista Caatinga* 31: 306–314. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n206rc>
- Dos Santos LFC, Ferrer MM, Ruenes-Morales MR, Montañez-Escalante PI, Andueza-Noh RH, Jiménez-Osornio J (2020) Genetic diversity and structure analysis of *Vigna unguiculata* L. (Walp.) landraces from southeastern Mexico using ISSR markers. *Plant Genetic Resources* 18: 201–210. <https://doi.org/10.1017/S147926212000026X>

- Ebel, R (2018). Effects of slash-and-burn-farming and a fire-free management on a cambisol in a traditional maya farming system. *Ciencia Ergo-Sum* 25: 1-11 doi:10.30878/ces.v25n2a5
- Ebel R, Pozas-Cárdenas JG, Soria-Miranda F, Cruz-González J (2017) Manejo orgánico de la milpa: Rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana* 35: 149–160.
- Farias de Melo H, Rodrigues de Souza E, Magalhães Dourado PR, Teixeira Lins CM, Bentzen Santos HR, Rodrigues Monteiro D, *et al.* (2020) Comparison of water and osmotic potentials on *Vigna unguiculata* stress response. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo* 44: e0200070. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200070>
- Flores GJS (2002) Diferentes usos de las leguminosas en la península de Yucatán. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 3: 59–63.
- García-Flores JC, Gutiérrez-Cedillo JG, Balderas-Plata MA, Araújo-Santana MR (2016) Estrategia de vida en el medio rural del altiplano central mexicano: El huerto familiar. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 13: 621–641.
- Gómez LA, Vadez V, Hernández-Barrueta G, Sánchez T, Toscano V (2002) Evaluación de la tolerancia al estrés de fósforo en caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) en Cuba. I. cultivo en solución nutritiva. *Agronomía Mesoamericana* 13: 59–65.
- Gómez-Gómez R, González-Lutz MI (2018) Respuesta de cinco leguminosas de cobertura a la fertilización fosfórica. *Agronomía Mesoamericana* 29: 293–303. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.27582>
- González-Valdivia NA, Cetzal-Ix, W, Basu SK, Pérez-Ramírez I, Martínez-Puc JF, Zandi P (2016) Conservation of the genetic diversity of local corn (*Zea mays* L.) in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis Studia Naturae*, 71-84-71–84.
- Guillén-Trujillo A, Palacios-Espinosa A, Zamora-Salgado S, Ortega-Pérez R, Espinoza-Villavicencio JL (2016) Efecto de la competencia intraespecífica en el crecimiento y producción del Yorimón. *Interciencia* 41: 353–356.
- Gutiérrez-Carbajal MG, Magaña-Magaña MA, Zizumbo-Villareal D, Ballina-Gómez, H., Gutiérrez-Carbajal MG, Magaña-Magaña MA, *et al.* (2019) Diversidad agrícola y seguridad alimentaria nutricional en dos localidades Mayas de Yucatán. *Acta universitaria* 29: e1996. <https://doi.org/10.15174/au.2019.1996>
- Guzmán-Mendoza R, Salas-Araiza M, Calzontzi-Marín J, Martínez-Yáñez R, Pérez-Moreno L (2016) Efectos de la fertilización en cultivos de maíz sobre la abundancia y distribución de *Macroductylus nigripes* (Coleóptera: *Melolonthidae*) de las tierras altas del centro de México. *Acta universitaria* 26: 3–11. <https://doi.org/10.15174/au.2016.802>
- Haggag JP, Uribe G, Basulto-Graniel J, Ayala A (2000) Barbechos mejorados en la Península de Yucatán, México. *Agroforestería en las Américas* 7(27). <http://bco.catie.ac.cr:8087/portal-revistas/index.php/AGRO/article/view/548>
- Huerta-Lwanga E, Rodríguez-Olán J, Evia-Castillo I, Montejó-Meneses E, Cruz-Mondragón MC, García-Hernández R (2008) Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana* 26: 171–181.
- Jahan N, Naveed S, Zeshan M, Tahir M (2016) How to Conduct a Systematic Review: A Narrative Literature Review. *Cureus* 8(11): e864. <https://doi.org/10.7759/cureus.864>
- Jonnalagadda SR, Goyal P, Huffman MD (2015) Automating data extraction in systematic reviews: A systematic review. *Systematic Reviews* 4: 78. <https://doi.org/10.1186/s13643-015-0066-7>

- Juárez-Ramón D, Fragoso C (2014) Comunidades de lombrices de tierra en sistemas agroforestales intercalados, en dos regiones del centro de México. *Acta zoológica mexicana* 30: 637–654.
- Kaizzi CK, Ssali H, Vlek PLG (2004) The potential of Velvet bean (*Mucuna pruriens*) and N fertilizers in maize production on contrasting soils and agro-ecological zones of East Uganda. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 68: 59–72. <https://doi.org/10.1023/B:FRES.0000012233.27360.60>
- Kanda EK, Senzanje A, Mabhaudhi T, Mubanga SC (2020) Nutritional yield and nutritional water productivity of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) under varying irrigation water regimes. *Water SA* 46: 410–418. <https://doi.org/10.17159/wsa/2020.v46.i3.8651>
- Karyoti A, Bartzialis D, Sakellariou-Makrantonaki M, Danalatos N (2018) Effects of irrigation and green manure on corn (*Zea mays* L.) biomass and grain yield. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18: 820–832. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005002401>
- Ku-Pech EM, Mijangos-Cortés JO, Andueza-Noh RH, Chávez-Pesqueira M, Simá-Polanco P, Simá-Gómez, JL, *et al.* (2020) Estrategias de manejo de la milpa maya en Xoy, Peto, Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7 (1): e2244. <https://doi.org/10.19136/era.a7n1.2244>
- Lara-Ponce E, Caso-Barrera L, Aliphat-Fernández M (2012) El Sistema Milpa Roza, Tumba Y Quema De Los Maya Itzá De San Andrés Y San José, Petén Guatemala. *Ra Ximhai* 8: 71–92.
- Latournerie-Moreno L, Yupit-Moo EDC, Tuxill J, Mendoza-Elos M, Arias-Reyes LM, Castañón-Nájera, G, *et al.* (2005) Sistema tradicional de almacenamiento de semilla de frijol y calabaza en Yaxcabá, Yucatán. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 47–53.
- López-Alcocer JJ, Lépiz-Ildfonso R, González-Eguiarte DR, Rodríguez-Macias R, López-Alcocer E (2016) Variabilidad morfológica de *Phaseolus lunatus* L. Silvestre de la región occidente de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39: 49–58.
- Marrugo-Ligardo YA, Montero-Castillo PM, Durán-Lengua M (2016) Evaluación Nutricional de Concentrados Proteicos de *Phaseolus lunatus* y *Vigna unguiculata*. *Información Tecnológica* 27: 107–114. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000600011>
- Martín-Alonso GM, Tamayo-Aguilar Y, Hernández-Forte I, Varella-Nualles M, Da Silva-Araujo E (2017) Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en *Canavalia ensiformis* crecida en un suelo pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de 15N y diferencia de N total. *Cultivos Tropicales* 38: 122–130.
- Martínez-Bernal A, Duno-de Stefano R, Lorena-Can L (2011) Los géneros *Cajanus* y *Rhynchosia* (*Leguminosae*, *Papilionoideae*, *Phaseoleae*, *Cajaninae*) en la península de Yucatán, México. *Revista mexicana de biodiversidad* 82: 1098–1107.
- Martínez-Castillo J, Colunga-GarcíaMarín P, Zizumbo-Villarreal D (2008) Genetic erosion and *in situ* conservation of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) landraces in its Mesoamerican diversity center. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55: 1065–1077. <https://doi.org/10.1007/s10722-008-9314-1>
- Mateos-Maces L, Castillo-González F, Chávez-Servia JL, Estrada-Gómez JA, Livera-Muñoz M (2016) Manejo y aprovechamiento de la agrobiodiversidad en el sistema milpa del sureste de México. *Acta Agronómica* 65: 413–421.
- Matos-Pech G, Arcocha-Gómez E, López-Hernández M, Garma-Quen P, González-Valdivia NA, Echavarría-Góngora E (2020) Efecto de tres abonos verdes en las características agronómicas del maíz nativo X'mején Naal en campeche, México. [Manuscrito Enviado Para Publicación]. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Maestría en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles.

- Monedero M, Alfonso CA (2003) Comportamiento de algunas variables que componen la fitomasa de las asociaciones de maíz con leguminosas. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos* 340: 89–94.
- Naranjo-Landero S, Obrador-Olán JJ, García-López E, Valdez-Balero A, Domínguez-Rodríguez VI (2020) Arvenses en un suelo cultivado con caña de azúcar con fertilización mineral y abono verde. *Polibotánica* 50: 119–135. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.9>
- Ortiz-Timoteo J, Sánchez-Sánchez OM, Ramos-Prado JM (2014) Actividades productivas y manejo de la milpa en tres comunidades campesinas del municipio de Jesús Carranza, Veracruz, México. *Polibotánica* 38: 173–191.
- Paz LB, Da Gallo AS, Souza RL, Oliveira LVN, Da Cunhav C, Silva RF (2017) Desempenho e produtividade do milho safrinha em consórcio com leguminosas em sistema orgânico. *Revista de Ciências Agrárias*, 40: 100–109. <https://doi.org/10.19084/RCA16240>
- Pereira-Brito MM, Muraoka T, Da Silva EC (2011) Contribution of nitrogen from biological nitrogen fixation, nitrogen fertilizer and soil nitrogen on the growth of the common bean and cowpea. *Bragantia*, 70: 206–215. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000100027>
- Pereira-Filho JV, Viana TVA, De Sousa GG, Chagas KL, De Azevedo BM, Pereira CCMS, *et al.* (2019) Physiological responses of lima bean subjected to salt and water stresses. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 23: 959–965. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n12p959-965>
- Plasencia-Vázquez AH, Villegas P, Ferrer-Sánchez Y, Zamora-Crescencio P (2017) Distribución histórica de las especies del género *Haematoxylum* (Leguminosae) en la Península de Yucatán, México, basada en ejemplares de herbario. *Acta botánica mexicana* 119: 51–68. <https://doi.org/10.21829/abm119.2017.1231>
- Plaza-Bonilla D, Nogué-Serra I, Raffailac D, Cantero-Martínez C, Justes É (2018) Carbon footprint of cropping systems with grain legumes and cover crops: A case-study in SW France. *Agricultural Systems* 167: 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.09.004>
- Prager-Móscuera M, Sanclemente-Reyes OE, Sánchez de Prager DI, Miller-Gallego J, Ángel-Sánchez DI (2012) Abonos verdes: Tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Agroecología* 7: 53–62.
- Regalado-López J, Castellanos-Alanis A, Pérez-Ramírez N, Méndez-Espinoza JA, Hernández-Romero (2020) Modelo asociativo y de organización para transferir la tecnología milpa intercalada en árboles frutales (MIAF). *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. 30: e20983. <https://doi.org/10.24836/es.v30i56.983>
- Sakai RH, Ambrosano EJ, Alves-Negrini AN, Ocheuze-Trivelin PC, Schammas EA, Tavares de Melo PC (2011) N transfer from green manures to lettuce in an intercropping cultivation system. *Acta Scientiarum. Agronomy* 33: 679–686. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i4.6766>
- Salazar-Barrientos LL, Magaña-Magaña MA, Aguilar-Jiménez AN, Ricalde-Pérez F (2016) Factores socioeconómicos asociados al aprovechamiento de la agrobiodiversidad de la milpa en Yucatán Socioeconomic factors associated to agrobiodiversity of the milpa in Yucatán 3 (9): 391–400.
- Sanclemente-Reyes OE, Ararát-Orozco MC, De la Cruz-Cardona CA (2015) Contribución de *Vigna unguiculata* L. a la sustentabilidad de sistemas de cultivo de caña de azúcar. *RIAA* 6: 47–56.
- Santos-Fita D, Naranjo Piñera EJ, Bello-Baltazar E, Estrada-Lugo EI, Mariaca-Méndez R, Macario-Mendoza PA (2013) La milpa comedero-trampa como una estrategia de cacería tradicional maya. *Estudios de Cultura Maya* 42: 7–118. [https://doi.org/10.1016/S0185-2574\(13\)71387-X](https://doi.org/10.1016/S0185-2574(13)71387-X)

- Sosa-Rodrigues BA, Sánchez-de-Prager M, García-Vivas YS, Espinoza-Guardiola MD, Rodríguez JA, Sosa-Rodríguez GM (2019) Dinámica de nitrógeno del suelo en agroecosistemas bajo el efecto de abonos verdes. *Acta Agronómica* 68: 257–264. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.71963>
- Souza RP, Machado EC, Silveira JAG, Ribeiro RV (2011) Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijoeiro caupi submetido à salinidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46: 587–592. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000600003>
- Toro M, Bazó I, López M (2008) Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agronomía Tropical* 58: 215–221.
- Uribe-Valle G, Petit-Aldana J (2007) Contribución de los barbechos cortos en la recuperación de la fertilidad del suelo en milpas del estado de Yucatán, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13: 137–142.
- Yanqui V, Marcelino S (2014) Recuperación de terrenos degradados por el cultivo de coca (*Erythroxylon coca*) En VRAEM, Perú, con aplicación de Tecnología Agroforestal. *Acta Nova* 6: 210–224.
- Zavala-Sierra D, Rodríguez-Ortiz J, Alcalá-Jáuregui J, Ruiz-Espinoza F, González Mancillas R, Rodríguez-Fuentes H, *et al.* (2018) Potencial de cinco especies de leguminosas como abonos verdes en la zona altiplano de San Luis Potosí, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 9: 4323–4330. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.1001>

Tabla 1. Aporte de macro y micronutrientes por *V. unguiculata* y *P. lunatus*, con y sin inoculación con microorganismos simbióticos, usados en el cultivo de maíz X'mejen Naal en un luvisol férrico, durante el periodo de julio a diciembre de 2020, en Chiná, Campeche, México.

Leguminosa	MS (Mg ha ⁻¹)	macronutrientes (kg ha ⁻¹)					micronutrientes (kg ha ⁻¹)						
		N	P	K	Ca	Mg	S	Mo	Fe	Mn	Cu	Zn	B
V. unguiculata	5.3 1	65.21	11.0 7	93.5	66.7 7	16.1 7	8.07	0.0 1	1.5 7	0.8	0.0 4	0.1 3	0.1 4
P. lunatus	2.4 6	47.69	7.03	55.63	44.7	5.33	4.37	0	1.0 7	0.1 8	0.0 2	0.0 6	0.0 6
V. unguiculata inoculado con Fosfonat	6.2 5	104.2 2	15.7 3	127.3 3	67.8 7	20.1	11.7 7	0.0 1	0.8 8	0.7 1	0.0 5	0.1 8	0.1 8
P. lunatus inoculada con Fosfonat	2.7 2	52.35	7.9	66.47	40.7 7	5.7	5.03	0	0.7 1	0.2 3	0.0 2	0.0 9	0.0 6

*Fosfonat: Mezcla comercial de endomicorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno.

Capítulo 2

NUTRIENTES EN LA BIOMASA SECA DE TRES ABONOS VERDES CULTIVADOS EN LUVISOLES FÉRRICOS DE CAMPECHE, MÉXICO

NUTRIENTES EN ABONOS VERDES

Gilberto Matos-Pech¹, Enrique Arcocha-Gómez¹, Mónica Beatriz López-Hernández¹,
Patricia Margarita Garma-Quen², Noel Antonio González-Valdivia^{1*}, Miguel Arcángel
Burgos-Campos¹, Alicia Eugenia Puertovannetti-Arroyo¹

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Maestría en Ciencias en
Agroecosistemas Sostenibles, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México. CP.
24520

²Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Avenida
Buenavista s/n, Colonia Buenavista, Campeche, Campeche, México. C.P. 24039

* Autor para correspondencia: siankaan2003@gmail.com

Resumen

Se estimó el contenido de nutrientes presentes en la biomasa seca tres leguminosas empleadas como abonos verdes; *Mucuna pruriens* (MU), *Vigna unguiculata* L. (XPE), y *Phaseolus lunatus*. (IB), *Mucuna pruriens* inoculada con endomicorrizas (EM) y bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno (BFN) (MU+R), *V. unguiculata* L. inoculada con EM y BFN (XPE+R), *P. lunatus* inoculada con EM y BFN (IB+R), Testigo con arvenses (SSA). La mucuna, inoculada o no, presentó una relación C/N (18.33 y 21.73) cercano al óptimo para un abono verde, no obstante, XPE+R es superior en la producción de biomasa seca (6.25 t ha⁻¹), nitrógeno (104.20 kg ha⁻¹), fósforo (15.73 kg ha⁻¹) y potasio (127.33 kg ha⁻¹). Además de tener valor comercial en el mercado regional puede considerarse como posible alternativa de abonado más apropiada, respaldando así la capacidad de la tecnología ancestral maya, pues *V. unguiculata* L., formaba parte del sistema milpa en Yucatán.

Palabras clave

Fertilidad y fertilización, leguminosas, milpa, Península de Yucatán, suelos tropicales

Abstract

The content of nutrients present in the dry biomass of three legumes used as green manure was estimated; *Mucuna pruriens* (MU), *Vigna unguiculata* L. (XPE), and *Phaseolus lunatus* (IB), *Mucuna pruriens* inoculated with endomycorrhizae (EM) and beneficial nitrogen-fixing bacteria (BFN) (MU+R), *V. unguiculata* L. inoculated with EM and BFN (XPE+R), *P. lunatus* inoculated with EM and BFN (IB+R), Control with weeds (SSA). *Mucuna*, inoculated or not, presented a C/N ratio (18.33 and 21.73) close to the optimum for a green manure, however, XPE+R is superior in the production of dry biomass (6.25 t ha⁻¹), nitrogen (104.20 kg ha⁻¹), phosphorus (15.73 kg ha⁻¹) and potassium (127.33 kg ha⁻¹). In addition to having commercial value in the regional market, it can be considered as a possible more appropriate subscriber alternative, thus supporting the capacity of ancestral Mayan technology, since *V. unguiculata* L., was part of the milpa system in Yucatán.

Keywords

Fertility and fertilization, legumes, cornfields, Yucatan Peninsula, tropical soils

Introducción

En México la agricultura es la base para la producción de alimentos (Gavito et al. 2017). Sin embargo, prácticas inadecuadas como el uso excesivo e ineficiente de insumos agrícolas, como los fertilizantes de síntesis industrial, han contaminado el ambiente y agravado la erosión y degradación de los suelos. Por tal motivo, se debe promover el manejo sostenible del suelo y el ambiente, con prácticas agrícolas de menor impacto (Pérez-Vázquez et al. 2018).

La demanda de nutrientes está relacionada con el ambiente de cada zona, el manejo agronómico de cada cultivo y las fuentes de fertilización a emplear (Sosa-Rodriguez y García-Vivas 2018). En la satisfacción eficiente de los requerimientos nutricionales, una alternativa a la fertilización convencional es el uso de abonos verdes o plantas que se incorporan al suelo, para aportar nutrientes a través de su biomasa. Las leguminosas herbáceas se emplean como abonos verdes destacados por su aporte parcial o total de nitrógeno y otros nutrientes a los cultivos, al descomponerse su biomasa en el suelo (Zavala-Sierra et al. 2018).

Los abonos verdes, además de ser simbióticos con microorganismos del edafón, pueden contener sustancias químicas que ayudan al control o supresión de plagas, con lo cual, además pueden ayudar a reducir el consumo de insecticidas (Castillo-Gómez et al. 2016). Las anteriores características descritas sirven de fundamento para el empleo de especies que como las leguminosas pueden emplearse en el manejo de fertilización de suelos, más aún en regiones tropicales.

En consecuencia, esta investigación tuvo el objetivo de determinar el contenido de nutrientes, presentes en la biomasa aérea de tres leguminosas empleadas como abonos verdes, tanto inoculadas como no inoculadas con endomicorrizas y bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno establecidas en suelos tropicales de tipo luvisol férrico.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio. El experimento se estableció entre los meses de abril a julio de 2020, en la unidad de producción Rancho Xamantún, perteneciente al Instituto Tecnológico de Chiná, en el estado de Campeche (19°42' N y 90°25' O y 44 msnm). Región de clima cálido subhúmedo, con precipitación y temperatura media de 1200 a 2000 mm y 26 a 27°C. La mayor proporción de precipitación se presenta de junio a octubre, con un periodo de sequía o “canícula” entre los meses de julio, agosto y principios de septiembre. El suelo es del tipo luvisol férrico, moderadamente profundo, con buena productividad y ligeramente ácidos (INIFAP 2015; González-Valdivia et al. 2019).

Factores de estudio y diseño experimental. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones, se establecieron 28 parcelas en total, la unidad experimental consistió en lotes de 4 × 8 metros, con un área útil de 3 × 7 m. Los tratamientos consistieron en: T1 (MU)= Mucuna (*Mucuna pruriens* L.), T2 (XPE)= Xpelón (*Vigna unguiculata* L.), T3 (IB)= Ibes (*Phaseolus lunatus* L.), T4 (MU+R) = Mucuna (*M. pruriens*) inoculada con Endomicorrizas (EM) y Bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno (BFN), T5 (XPE+R) = Xpelón (*V. unguiculata*) inoculada con EM y BFN, T6 (IB+R) = Ibes (*P. lunatus*) inoculada con EM y BFN y T7 (SSA) = Testigo con arvenses espontáneas.

Los abonos verdes (AV) fueron sembrados considerando una distancia de 0.20 m entre plantas y 0.80 m entre hileras para obtener una densidad de 62,500 plantas ha⁻¹, para *V. unguiculata* y *P. lunatus* (Jara-Claudio y Alejos-Patiño 2016; Batista de Sousa et al. 2020). Mucuna se sembró con una distancia de 0.50 m entre plantas y 0.80 m entre surcos para lograr una densidad de 25,000 plantas ha⁻¹ (Sanclemente-Reyes et al. 2013; Rojas-Molina et al. 2019). Durante el desarrollo de los AV, se brindó el manejo agronómico con respecto al control de plagas, enfermedades y manejo de arvenses.

Análisis de suelo y de tejido vegetal. Antes de la siembra, se llevó a cabo un análisis de fertilidad del suelo presente en el área de estudio, para ello se tomaron muestras de suelo hasta 30 cm de profundidad en la capa arable, mediante la técnica cinco de oros, por medio de la cual se tomaron cinco submuestras para conformar una muestra homogénea del terreno (Murillo-Cuevas et al. 2019). Las muestras fueron analizadas por el laboratorio de suelos

LANISAF (Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal, Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en Carretera México – Texcoco. Estado de México).

Los análisis de tejido vegetal fueron realizados por AGQ Labs México, a partir de muestras obtenidas de cada AV a los 60 días después de su siembra (dds), tiempo en el que estos, alcanzaron su máximo desarrollo vegetativo e inicio de floración, momento en que se recomienda la incorporación al suelo.

VARIABLES DE ESTUDIO

Biomasa aérea final (g m⁻²). Se determinó al cosechar cuatro plantas completas, exceptuando la raíz, de los surcos centrales de cada unidad experimental y obtener el peso seco por planta. Para la determinación de la biomasa seca total por hectárea se multiplicaron los resultados unitarios del peso seco por planta por la densidad poblacional de cada uno de los tratamientos empleados.

Carbono total en la biomasa. Mediante una muestra de 300 g de plantas completas (raíces y parte aérea), tomadas de cuatro surcos centrales de cada unidad experimental en cada uno de los tratamientos. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de análisis agronómico de la empresa privada AGQ Labs México, ubicado en Zapopan, Jalisco. Donde se determinó el carbono total de cada tratamiento, mediante la técnica de Análisis Elemental (Cano-Flores et al. 2020).

Concentración de nutrimentos presentes en los abonos verdes. Con las muestras recolectadas, se realizaron los análisis foliares para la determinación del contenido de nutrientes presentes en cada uno de los tratamientos, mediante la técnica de Espectroscopía de Plasma ICP-OES y análisis elemental (Jiménez-Heinert et al. 2020): nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y Cobre (Cu). Las concentraciones de los macronutrientes de N, P, K, Ca, Mg y Azufre (S) se expresaron en porcentajes (%), y los micronutrientes; Molibdeno (Mo), Fe, Mn, Zn,

Cu y Boro (B), fueron expresados en miligramos por kilogramo (mg/kg) (Costa-Mello et al. 2018).

Cálculo de la capacidad de aporte de macronutrientes por los abonos verdes. Solamente se describen los potenciales aportes de macronutrientes por considerar que estos elementos son las principales limitantes de los cultivos en suelos tropicales. Para la estimación del contenido de macronutrientes aportados por biomasa total de los AV, fueron necesarios los datos de la materia seca total de cada uno de los tratamientos evaluados, estos fueron multiplicados por la concentración de nutrientes por planta, mismos que fueron determinados previamente mediante los análisis de tejidos de los AV, empleando para el cálculo la siguiente ecuación (García-Carreón y Martínez-Menez 2015):

$$\text{CN} = \text{MS} * [\text{NS} / 100]$$

CN = Contenido del nutrimento en la materia seca total (expresado en kg de nutrimento/ha)

MS= Materia seca total

NS= Concentración de nutrimento en la materia seca

Relación carbono-nitrógeno. Determinado por medio del cociente entre el carbono total y el nitrógeno total, obtenido de los análisis de tejido de planta completa de cada uno de los tratamientos. Fórmula $C/N = \text{Carbono orgánico} / \text{Nitrógeno total}$ (Gamarra-Lezcano et al. 2018).

Análisis estadístico. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza, utilizando el programa estadístico InfoStat 2020. De igual manera los resultados fueron sometidos a la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan ($p < 0.05$).

Resultados y discusión

Características químicas del luvisol férrico. Se han realizado análisis de distintas características del suelo en el que se ha establecido el experimento, que ayudaron a verificar la pertenencia al orden mencionado y a la vez comprender el estado de la fertilidad del

mismo, antes de cultivar los abonos verdes experimentales (Cuadro 1). Los datos obtenidos, permitieron establecer que este suelo tiene calidad para uso agrícola de moderada a alta.

Materia seca (MS, g p⁻¹). Se demostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, con MU+R y MU como los más altos en el contenido de materia seca (Cuadro 2). El testigo SSA ocupó el tercer puesto en MS, evidencia de que las arvenses pueden producir biomasa en cantidades próximas a los cultivos establecidos como abonos verdes (Agüero-Alvarado et al. 2018). Esta capacidad muestra que pueden considerarse como alternativas de abonado verde en la zona de estudio, fortaleciendo la entropía del sistema.

Los valores de MS producida por *M. pruriens*, fueron semejantes a los hallados por Villarreal-Romero et al. (2014); quienes lograron una producción de 134.0 a 140.3 g p⁻¹ con tres cultivares de esta especie. El empleo de endomicorrizas y bacterias benéficas (MU+R), pudieron propiciar una mayor absorción y aprovechamiento de los nutrientes por la mucuna.

Biomasa total seca producida por los abonos verdes. El abono verde de XPE +R resultó el máximo productor de biomasa, seguido por XPE, MU+R y MU (Cuadro 2). Por otro lado, la materia seca obtenida de *M. pruriens*, superó a los de 2.1 t ha⁻¹ reportado por Sosa-Rubio et al. (2008), en mucuna evaluada como cultivo con potencial forrajero. También superó los rendimientos de 1.4 t ha⁻¹ de MS reportado por Álvarez-Solís et al. (2016) y de 1.5 t ha⁻¹ obtenidos por Vega y Leblanc (2013), quienes midieron la MS producida por esta especie, fertilizada o no con fósforo, usada como AV y cultivo de cobertura. Sin embargo, se encuentran por debajo de los hallazgos de Villarreal-Romero et al. (2014); quienes reportan entre 4.9 a 5.2 t ha⁻¹, en el valle de Culiacán, Sinaloa, con una densidad aproximada de 38,900 plantas ha⁻¹. Estas variaciones, posiblemente pudieron estar relacionadas tanto con la densidad mayor de siembra como con el clima semiárido de esa región, en comparación al clima cálido subhúmedo propio del estado de Campeche.

En el caso de la producción de biomasa por superficie, el mejor abono es el frijol X'pelón (*V. unguiculata* L.), que con o sin organismos simbióticos alcanzó más de 5 t ha⁻¹. El total de materia seca producida por frijol Ib (*P. lunatus*) inoculado (IB+R) fue cercano a las 3 t ha⁻¹ (Cuadro 2), en concordancia con Gachene et al. (2000). Asimismo, IB+R alcanzó entre 2.8 a

5.9 t ha⁻¹ de MS. Tanto Xpelón, como el frijol Ib o Ibes, se pueden considerar como las opciones más acordes y compatibles a la cultura local de la región de estudio, al constituir estas especies parte del manejo tradicional y ancestral de la milpa, un agroecosistema mesoamericano, que en la Península de Yucatán incluye a ambas especies como fuente de alimento humano (Ku-Pech 2019). El X'pelón es, en todo caso, la mejor de ambas opciones, si solo se considera la productividad de biomasa.

Contenido de macronutrientes. Los porcentajes de los macronutrientes contenidos en promedio por los AV, mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para N, Ca, Mg y S (Cuadro 3), con el contenido de P y K como elementos sin discrepancias estadísticas ($p > 0.05$). Respecto al P, la baja disponibilidad del fósforo lábil en los suelos de la Península de Yucatán, limita su asimilación por los cultivos y el crecimiento en la biomasa vegetal de los mismos, que puede compensarse, al usar los AV, debido a una alta concentración de P en tejidos vegetales y de microorganismos especializados en liberar este elemento en suelos con alto contenido de materia orgánica (Tapia-Torres et al. 2013). La capacidad de aporte de nutrientes por la biomasa vegetal de todos los AV estudiados, resulta de vital importancia para poder ser empleados en la fertilización de los suelos luvisoles en Campeche y la región.

MU+R produjo el contenido de N más alto, seguido por MU e IB respectivamente (Cuadro 3). Bermúdez-Maroto (2019), afirma que los mayores porcentajes de N, son hallados en el tejido vegetal de *M. pruriens* a los 65 dds, con un promedio de 4.52% de N, disminuyendo la concentración, durante el proceso de floración (3.59% de N). Esto concuerda con el experimento en donde la determinación del aporte de nutrientes por los AV, se realizó durante la etapa de máximo desarrollo vegetativo, y antes de establecerse la etapa fisiológica de la floración.

Tanto IB e IB+R, generaron mayores porcentajes de K, pero no fueron diferentes a los demás tratamientos ($p > 0.05$, Cuadro 3). Todos los AV produjeron porcentajes semejantes de P ($p > 0.05$), con un rango comprendido entre 0.23 y 0.30%. Tanto IB como MU y MU+R, presentaron los valores más altos de Ca, mientras XPE+R obtuvo el valor más bajo. Los contenidos de Mg, fueron semejantes entre MU y XPE, independientemente de si se

inocularon o no, y superaron en esta característica al IB y SSA. Cuando el X'pelón es inoculado (XPE+R), sus contenidos de azufre se asemejan a los demás, mejorando sus características como AV para suelos calcáreos.

Los luvisoles férricos en Campeche, suelen poseer altas concentraciones de Ca, que se vuelven antagonistas del P, K y Mg haciéndolos indisponibles para la nutrición vegetal. Lo anterior se corrige con enmiendas acidificantes del suelo, principalmente con la adición de sulfatos u otros ricos en azufre. Un aumento en los contenidos de S en los AV, puede conferir a éstos propiedades acidificantes, por lo cual resulta conveniente utilizar *V. unguiculata* inoculada como AV para suelos calcáreos. Si además se considera la mayor productividad de biomasa por unidad de superficie de esta especie, la evidencia muestra nuevamente que esta tecnología de cultivo había sido bastante bien comprendida, desde la perspectiva del manejo de la fertilidad y fertilización del suelo, por la población originaria, desde tiempos precolombinos.

Si además se incluye en la estrategia de policultivos en la milpa, el frijol Ib (*P. lunatus*), que en los resultados obtenidos aparece como una de las mejores fuentes de K y P, N y S, se fortalecería más la idea de que los cultivos mixtos y mutuamente complementarios en el sistema de milpa en la versión maya peninsular, resultaron seleccionados por su efectividad sinérgica, adaptada a los suelos calcáreos de la zona. Destacando de esta manera el gran potencial de los AV como alternativas en el manejo de la fertilización y nutrición vegetal (Mariaca-Méndez 2015).

Contenido de micronutrientes. En cuanto a los elementos considerados como micronutrientes los resultados del análisis de varianza ($p < 0.05$), mostraron diferencias significativas únicamente para los elementos Mo, Mn, Cu, y B, sin embargo, para el caso del Zn, estos promedios no tuvieron diferencias significativas en la comparación de medias, concluyendo que todos los tratamientos aportaron porcentajes semejantes para este elemento. Las concentraciones de Fe en el tejido vegetal no manifestaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p > 0.05$). El molibdeno, es mayor en MU+R y menor en las arvenses (SSA), con los demás tratamientos ubicados como intermedios entre estos dos extremos. MU+R y

XPE produjeron más Mn, mientras los contenidos de Cu, fueron más altos con MU y MU+R. Estos últimos tratamientos lograron generar los mayores porcentajes de boro, a la vez que las arvenses (SSA) produjeron menos de este elemento (Cuadro 4).

Estudios realizados en la biomasa aérea de *mucuna pruriens* por Vega y Leblanc (2013), reportaron concentraciones de los macronutrientes P, Mg, Zn, semejantes a las obtenidas en el caso de Campeche, con aportes de 0.28% en P, 0.28% en Mg y 28 mg/kg en Zn, pero con porcentajes inferiores de K, Ca, Fe, Cu y Mn, con aportes de 0.61%, 0.49%, 94 mg/kg, 16 mg/kg y 157 mg/kg respectivamente. Estos autores obtuvieron un contenido de 4.61% de N, cerca del doble a lo hallado en este estudio, que pudo deberse tanto a las diferencias entre clima y suelo, como al manejo dado al cultivo, pues además de inocular las semillas con bacterias fijadoras de nitrógeno, les agregaron fertilización química, lo que no se hizo en el experimento descrito en este documento.

Cálculo del aporte de nutrientes por la biomasa seca (kg ha^{-1}). En la estimación del contenido de nutrientes de los AV en kilogramos por hectárea, estos presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) para todos los macronutrientes en todos los tratamientos evaluados; resultando los valores más altos el tratamiento de XPE+R, seguido por MU+R y del MU. El abono verde de IB presentó el valor más bajo dentro de las leguminosas, solo superado por el testigo SSA (Cuadro 5). Los contenidos de nitrógeno superaron a los encontrados por Martínez-Mera y Valencia (2016), quienes reportaron valores entre 10.33 y 45.54 kg ha^{-1} de N, con *M. pruriens* cultivada a una alta densidad de plantas. Valores de 69.60 kg ha^{-1} de N (Vega y Leblanc 2013) y de 78.70 kg ha^{-1} de N (Sosa-Rodríguez et al. 2014), utilizando mucuna como AV, también fueron menores a los aquí reportados para esta especie. Por tanto, los porcentajes de nutrientes obtenidos de la biomasa seca total de los abonos verdes cultivados en un suelo luvisol de Campeche, pueden, comparativamente, considerarse altos.

Respecto a los contenidos de fósforo, el tratamiento de XPE+R, sobresalió, seguido de los tratamientos con MU y XPE con cantidades de P, muy similares entre sí. Los valores de las concentraciones de fósforo para MU fueron similares a los hallados por Sosa-Rodríguez et

al. (2014), quienes reportaron una acumulación total de 11.0 kg ha⁻¹ para este macronutriente. Los tratamientos con *V. unguiculata*, XPE+R, seguido por XPE junto a MU, lograron producir las mayores concentraciones de K por hectárea ($p < 0.05$). Los demás tratamientos presentaron contribuciones semejantes entre sí.

Los contenidos de Ca, situaron como superior a MU, seguido por XPE+R y XPE. Estos mismos AV proporcionaron los mayores contenidos para el Mg. Mientras XPE+R logró acumular un total de 11.77 kg ha⁻¹ de azufre en comparación con los demás tratamientos. Estos datos evidencian porque los frijoles Xpelón e Ibes formaban parte indispensable de la milpa en los suelos calcáreos de Yucatán, al suministrar nutrientes que, por el exceso de Ca en la solución del suelo, se vuelven indisponibles para la planta. La vinculación de mejores resultados al asociar al AV con microorganismos, establece correspondencia con la ineludible relevancia de los factores bióticos del edafón, en la dinámica de los nutrientes en suelos tropicales. Por lo cual, *Vigna unguiculata* y *Phaseolus lunatus*, pudieran ser empleados como abonos verdes, contribuyendo con ello, a un sistema de cultivo, arraigado en la historia de la región.

Carbono total y relación carbono-nitrógeno. No se demostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los AV, con promedios cercanos entre sí. Los AV evaluados dejan una huella de carbono proporcional a la materia seca producida, cercana del 45% del peso seco (Carbajal-Ávila et al. 2017). En el estudio realizado, el carbono total generado por la biomasa vegetal para todos los tratamientos estuvo comprendido entre los 45.20 y 46.87% (Cuadro 6).

Los porcentajes del carbono total, son similares a los reportado por Vega y Leblanc (2013), de 47.7% para el cultivo de *M. pruriens*, con una relación C/N de 10.2%. Cabe mencionar que las especies de plantas que son del tipo rastrero son consideradas de las mejores, para su inclusión en programas de sustentabilidad como abonos verdes, pues logran generar grandes cantidades de biomasa, siendo esta proporcional a sus concentraciones de carbono (Colque-Arispe y Ruiz-Alderete 2019).

Sin embargo, la relación carbono/nitrógeno mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre todos los AV. Los tratamientos XPE, XPE+R, SSA, IB+R e IB presentan C/N mayores al 20%, que es el límite superior óptimo en el suelo. Tanto MU como MU+R se aproximan a este valor de referencia en su relación C/N del tejido vegetal, por lo cual representan una opción viable para su empleo como AV, asumiendo la posibilidad de que los microorganismos del suelo actúen sobre los nutrientes contenidos en su biomasa vegetal con mayor facilidad, en particular el N, transformándolos a formas lábiles y asimilables por las plantas.

Las relaciones carbono-nitrógeno están estrechamente relacionadas con su capacidad de descomposición y mineralización en el suelo, de tal manera que las relaciones C/N altas, perjudican estos mecanismos (Cantú-Silva y Yáñez-Díaz 2018). Por tanto, para esta variable, *M. pruriens*, resulta el mejor tratamiento, con valores cercanos a los hallados por Sosa-Rodríguez et al. (2014), quienes, al asociarla con rizobios y micorriza arbuscular, observaron una relación C/N de 12.6; y destacan que esta especie presentó gran capacidad para crear mecanismos simbióticos, por su relación C/N menor que 20.

Es importante señalar que, en las zonas tropicales, se presentan una gran cantidad de organismos poco estudiados; que forman parte de la mesofauna y macrofauna edáfica, los cuales favorecen los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica (Vega et al. 2015). Tales como lombrices de tierra, ciempiés (quilópodos), milpiés (diplópodos), cochinillas (isópodos), y caracoles (gastrópodos), además de hormigas y termitas (Cupul-Magaña 2013). Por otra parte; estudios realizados en algunas regiones de Campeche, demuestran la existencia de una gran riqueza de macroinvertebrados, destacando especies incluidas en las clases Gastropoda, Insecta y Clitellata, que representaron entre 72% a 87 del total de especímenes hallados en muestras de suelo, realzando su presencia en suelos con altas cantidades de materia orgánica (Valdez-Ramírez et al. 2020).

La existencia de esta gran variedad de macrofauna edáfica, bien pudo representar una ventaja competitiva, para los procesos de descomposición de la materia orgánica generada en el asocio de cultivos como calabaza, maíz y frijol, en el sistema milpa maya (Ebel et al. 2017).

De igual manera, se justificaría, la permanencia a través del tiempo, de variedades de leguminosas locales como el Xpelón y el Ibes, materiales genéticos aún incluidos en los sistemas de producción (Orona et al. 2015). Esto como producto de la cosmovisión holística de la cultura maya, de las interacciones planta-suelo, que se traducían en la fertilización sobre el cultivo principal que es el maíz. Evidencia de interrelaciones entre organismos del suelo y los cultivos (Pauli et al. 2016). De esta manera, utilizar abonos verdes leguminosos, puede favorecer la diversidad e interrelaciones de la macrofauna edáfica durante el proceso de establecimiento, y su posterior efecto en la descomposición de los mismos.

Las relaciones carbono-nitrógeno fueron altas para la mayoría de los tratamientos evaluados, por lo que se puede considerar que su tasa de descomposición será más lenta, y por correspondiente la disponibilidad del nitrógeno para los cultivos posteriores será menor en el corto plazo, aunque se disminuyen la pérdidas de N por volatilización (Gamarra-Lezcano et al. 2018). Para remediar esta situación, se recomienda asociar las especies leguminosas con gramíneas, como el maíz, para mejorar las relaciones C/N y llevarla a valores entre 10 a 14, que permiten la liberación lenta pero asimilable de los nutrientes contenidos en los abonos verdes, sin dejar de lado el análisis de las interacciones con la macro y micro fauna edáfica del suelo, que puede favorecer los procesos de mineralización del carbono contenido en la biomasa vegetal (Sosa-Rodríguez et al. 2014; Gamarra-Lezcano et al. 2018).

Conclusiones

En función a los resultados encontrados en la presente investigación, se concluye que las leguminosas cultivadas como abono verde en el presente estudio, *Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* y *Phaseolus lunatus*, tienen potencial para ser empleadas como abonos verdes en suelos luvisoles férricos y calcáreos (K'an Káab en maya) del estado de Campeche. Su efecto mejora en combinación con endomicorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno. El principal problema de su implementación se encuentra en las altas relaciones C/N detectadas, superiores al 20%, en todos los casos. Es recomendable considerar en futuras investigaciones, estudios que permitan analizar la tasa de descomposición de la materia orgánica para estas especies de abonos verdes, durante diferentes épocas del año y por diversos periodos de

tiempo, así como su asocio con gramíneas, con la finalidad de conocer la disponibilidad real y en campo de los macro y microelementos, y efectos de la relación C/N, para su aprovechamiento por cultivos posteriores. De igual manera es recomendable incluir estudios relacionados con la mesofauna y macroinvertebrados del suelo, esto debido a los servicios ambientales que estos brindan en los procesos de fragmentación, mineralización y descomposición de la materia orgánica incorporada.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México, por financiar este experimento mediante el proyecto “Efecto de abonos verdes sobre las características agronómicas del maíz nativo X’mejen Naal en Luvisoles férricos de Campeche, México”, registró 8724.20-P.

Literatura citada

- Agüero-Alvarado R, Rodríguez-Ruiz A, González-Lutz M, Portuguese-García P, Brenes-Prendas S. 2018. Abundancia y cobertura de arvenses bajo manejo convencional y orgánico de café y banano. *Agronomía Mesoamericana* 29: 91–100. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.28053>
- Álvarez-Solís JD, Muñoz-Arroyo R, Huerta-Lwanga, E, Nahed-Toral J. 2016. Balance parcial de nitrógeno en el sistema de cultivo de maíz (*Zea mays* L.) con cobertura de leguminosas en Chiapas, México. *Agronomía Costarricense* 40: 29–39. <https://doi.org/10.15517/rac.v40i1.25322>
- Batista de Sousa AMC, Brito-Da Silva V, Almeida-Lopes AC, Ferreira-Gomes RL, Branco-Carvalho LC. 2020. Prediction of grain yield, adaptability, and stability in landrace varieties of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 20: e295120115. <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n1a15>
- Bermúdez-Maroto IA. 2019. Elaboración de la curva de absorción de nutrimentos de *Mucuna pruriens* sembrada en espaldera. Tesis de Licenciatura en Agronomía. Universidad de Costa Rica. San José, República de Costa Rica.
- Cano-Flores O, Vela-Correa G, Acevedo-Sandoval O, Valera-Pérez M. 2020. Concentraciones de carbono orgánico en el arbolado y suelos del área natural protegida El Faro en Tlalmanalco, Estado de México. *Revista Terra Latinoamericana* 38: 895–905. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.757>
- Cantú-Silva I, Yáñez-Díaz M. 2018. Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9: 122–151. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.138>
- Carbajal-Ávila J, Rodríguez-Rosales AA, Ávila -Caballero LP, Rodríguez- Herrera AL, Hernández- Cocoltzi H. 2017. Captura de carbono por una fachada vegetada. *Acta Universitaria* 27: 55–61. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1388>
- Castillo-Gómez C, Narváez-Solarte W, Hahn-Von-Hessberg C. 2016. Agro-morphology and uses of *Cajanus cajan* L. Millsp. (Fabaceae). *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural* 20: 52–62. <https://doi.org/10.17151/bccm.2016.20.1.5>

- Colque-Arispe K, Ruiz-Alderete D. 2019. Carbono de biomasa microbiana influenciada por los residuos de cinco especies de abonos verdes sobre un suelo bajo uso pecuario. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático* 5: 1267–1277. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v5i10.8967>
- Costa-Mello S, Nimi-Kassoma J, Quesada-Roldán G, Dantas-Da Silva A, Augusto-Donegá M, Dos Santos-Dias C. 2018. Green manure in parsley production and soil fertility in Piracicaba, Brazil. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 12: 183–191. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.6097>
- Cupul-Magaña FG. 2013. Chilopoda: La diversidad de los ciempiés (Chilopoda) de México. *Dugesiana* 20: 17–41. <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v20i1.4076>
- Ebel R, Pozas-Cárdenas JG, Soria-Miranda F, Cruz-González J. 2017. Manejo orgánico de la milpa: Rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana* 35: 149–160.
- Gachene CKK, Mureithi JG, Anyika F, Makau M. 2000. Incorporation of green manure cover crops in maize based cropping system in semi -arid and sub-humid environments of Kenya. Departamento de Ciencias Del Suelo, Universidad de Nairobi. Nairobi, República de Kenia.
- Gamarra-Lezcano CC, Díaz-Lezcano MI, Vera de Ortiz M, Galeano MDP, Cabrera-Cardús AJN. 2018. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9: 4-25. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- García-Carreón JS, Martínez-Menez MR. 2015. Abonos verdes. Ficha Técnica 4. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural pesca y alimentación. Estado de México, México.
- Gavito M, Van der Wal H, Aldasoro EM, Ayala-Orozco B, Bullén AA, Cach-Pérez M, Casas-Fernández A, Fuentes A, González-Esquivel C, Jaramillo-López P, Martínez P, Masera-Cerruti O, Pascual F, Pérez-Salicrup D, Robles R, Ruiz-Mercado I, Villanueva G. 2017. Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: Retos y perspectivas en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88: 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.09.001>

- González-Valdivia NA, Cauich-Cauich R, Pérez-Molina SH, Burgos-Campos MA, Arcocha-Gómez E. 2019. Control de *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae) con entomopatógenos, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae), en Sorgo, Campeche, México. Acta Agrícola y Pecuaria 5: E0051005. <https://doi.org/10.30973/aap/2019.5.0051005>
- [INIFAP] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. [Internet]. 2015. Agenda Técnica Agrícola Campeche. [Citado 2020 Oct 15]. Disponible en: https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content
- Jara-Claudio FR, Alejos-Patiño IW. 2016. Efecto de la densidad de siembra y abonamiento orgánico en el rendimiento de frejol castilla (*Vigna unguiculata* L.) en condiciones agroecológicas de Cayhuayna. Investigación Valdizana 10: 123–128.
- Jiménez-Heinert ME, Grijalva-Endara AM, Ponce-Solórzano HX. 2020. Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES). Recimundo 4: 4–12. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).octubre.2020.4-12](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.4-12)
- Ku-Pech EM. 2019. *La diversidad de maíz, frijol y calabaza en la milpa maya de Xoy, Peto, Yucatán*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C., Mérida, Yucatán, México.
- Mariaca-Méndez R. 2015. La milpa maya yucateca en el siglo XVI: Evidencias etnohistóricas y conjeturas. Etnobiología 13: 1-38.
- Martínez-Mera EA, Valencia E, Cuevas HE. 2016. Evaluación del rendimiento de maíz dulce (*Zea mays* 'Suresweet') con las leguminosas cobertoras mucuna enana (*Mucuna pruriens*) y crotalaria (*Crotalaria juncea* Tropic Sun') en un Oxisol de Puerto Rico. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 100: 57-70.
- Murillo-Cuevas F, Adame-García J, Cabrera-Mireles H, Fernández-Viveros J. 2019. Fauna y microflora edáfica asociada a diferentes usos de suelo. Ecosistemas y recursos agropecuarios 6: 23–33. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1792>
- Orona CF, Medina MJ, Soto RJM, Hernández PM. 2015. Recursos genéticos de frijol que se cultiva en el estado de Campeche. En XXVI Reunión Científica Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2014. La Innovación tecnológica para la seguridad alimentaria. Tabasco, México. P. 127–134.

- Pauli N, Abbott LK, Negrete-Yankelevich S, Andrés P. 2016. Farmers' knowledge and use of soil fauna in agriculture: A worldwide review. *Ecology and Society* 21: 19.
- Pérez-Vázquez A, Leyva-Trinidad D, Gómez-Merino F. 2018. Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 175–189. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.857>
- Rojas-Molina ML, Zúñiga-Orozco A, Peña-Cordero W, Montero-Jara K. 2019. Efecto de la incorporación de *Mucuna sp.* En el cultivo de maíz en un área urbana de Costa Rica. *Repertorio Científico* 21:28-37.
- Sanclemente-Reyes OE, Prager-Mosquera M, Beltrán-Acevedo LR. 2013. Aporte de Nitrógeno al suelo por *Mucuna pruriens* y su efecto sobre el rendimiento de maíz dulce (*Zea mays* L.). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 4: 149–155.
- Sosa-Rodrigues B, García-Vivas Y. 2018. Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz fertilizado de forma orgánica y mineral. *Agronomía Mesoamericana* 29: 207–219. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27127>
- Sosa-Rodríguez BA, Sánchez de Prager M, Sanclemente-Reyes OE. 2014. Influencia de abonos verdes sobre la dinámica de nitrógeno en un *Typic Haplustert* del Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica* 63: 343-351. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n4.38528>
- Sosa-Rubio EE, Cabrera-Torres E, Pérez-Rodríguez D, Ortega-Reyes L. 2008. Producción estacional de materia seca de gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 46: 413–426.
- Tapia-Torres Y, García-Oliva F. 2013. La disponibilidad del fósforo es producto de la actividad bacteriana en el suelo en ecosistemas oligotróficos: Una revisión crítica. *Terra Latinoamericana* 31: 231–242.
- Valdez-Ramírez C, Levy-Tacher SI, León-Martínez NS, Navarrete-Gutiérrez DA, Ortiz-Ceballos ÁI. 2020. Cambios químicos y biológicos del suelo provocados por *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn en áreas de influencia de la reserva de la biosfera de Calakmul, Campeche. *Revista Terra latinoamericana* 38: 289–300. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.464>

- Vega JM, Lwanga EH, Quej VMK, Novelo P. 2015. Imprescindibles servicios ecosistémicos de los suelos. *Ecofronteras* 19: 10–13.
- Vega PF, Leblanc H. 2013. Producción de biomasa y fijación de nitrógeno de *Mucuna pruriens* en el trópico húmedo de Costa Rica. *Tierra Tropical* 9: 57–65. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1083.0564>
- Villarreal-Romero M, Parra-Terraza S, Hernández-Verdugo S, Osuna-Enciso T, Sánchez-Peña P, Angulo-Castro A, Pinto-Ruíz R. 2014. Biomasa y captura de nitrógeno de cultivos de *Mucuna pruriens* (L.) DC. y su descomposición en el suelo. ITEA, información técnica económica agraria: *Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario* 110: 18–33. <https://doi.org/10.12706/itea.2014.002>
- Zavala-Sierra D, Rodríguez-Ortiz J, Alcalá-Jáuregui J, Ruiz-Espinoza F, González Mancillas R, Rodríguez-Fuentes H, Delgado-Sánchez P. 2018. Potencial de cinco especies de leguminosas como abonos verdes en la zona altiplano de San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 4323–4330. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.1001>

Cuadros

Cuadro 1. Análisis general del suelo luvisol férrico utilizado para el experimento con tres especies de leguminosas como abonos verdes (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* y *Phaseolus lunatus*) en Chiná, Campeche, México. De abril a julio del 2020, en Chiná, Campeche, México.

Nutrientes	Concentración	Unidad
Materia Orgánica	3.92	%
CIC	23.87	cmol/kg
Nitrógeno	4.10	mg/Kg
Fósforo	1.17	mg/Kg
Potasio	518	mg/Kg
Calcio	4580.62	mg/Kg
Magnesio	941.80	mg/Kg
Azufre	20.64	mg/Kg
Molibdeno	0.06	mg/Kg
Fierro	2.07	mg/Kg
Manganeso	2.82	mg/Kg
Cobre	1.00	mg/Kg
Zinc	1.47	mg/Kg
Boro	0.90	mg/Kg
Sodio	30	mg/Kg
Selenio	ND	mg/Kg
Cobalto	0.01	mg/Kg

Análisis LAN20-AIN-067, realizado por Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal “LANISAF”, Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en Carretera México – Texcoco. Estado de México

Cuadro 2. Materia seca y biomasa total producida por tres abonos verdes (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* y *Phaseolus lunatus*), con y sin adición de microorganismos simbióticos, cultivados en suelo luvisol férrico, de abril a julio del 2020, en Chiná, Campeche, México.

Tratamientos	Materia seca (g p ⁻¹)	Biomasa seca (t ha ⁻¹)
MU	149.15 a	3.73 bc
XPE	84.95 cd	5.31 ab
IB	39.45 d	2.46 cd
MU+R	150.23 a	3.76 bc
XPE+R	99.95 bc	6.25 a
IB+R	43.53 d	2.72 cd
SSA (Testigo)	133.10 ab	1.33 d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$), con prueba de medias de Duncan, MU=*Mucuna pruriens*, MU+R= *M. pruriens* adicionada con EM y BFN, XPE= *Vigna unguiculata*, XPE+R= *V. unguiculata* adicionada con EM y BFN, IB= *Phaseolus lunatus* (L), IB+R= *P. lunatus* adicionado con EM y BFN, SSA= arvenses.

Cuadro 3. Concentración de macronutrientes en el tejido vegetal de tres abonos verdes (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* y *Phaseolus lunatus*), con y sin adición de microorganismos simbióticos, cultivados en suelo luvisol férrico, de abril a julio del 2020, en Chiná, Campeche, México.

Tratamientos	Cantidad de macronutrientes en el tejido vegetal (%)						Técnica
	N	P	K	Ca	Mg	S	
MU	2.11 ab	0.29 a	2.10 a	1.88 a	0.30 ab	0.17 ab	
XPE	1.28 b	0.23 a	1.73 a	1.31 bc	0.31 a	0.15 b	
IB	2.01 ab	0.30 a	2.45 a	1.88 a	0.23 bc	0.19 ab	Espect
MU+R	2.49 a	0.25 a	1.84 a	1.85 a	0.31 ab	0.19 ab	ICP-
XPE+R	1.54 b	0.23 a	1.86 a	0.95 c	0.28 abc	0.17 ab	OES*
IB+R	1.93 ab	0.29 a	2.43 a	1.53 ab	0.21 c	0.19 ab	
SSA(Testigo)	1.78 ab	0.21 a	2.28 a	1.12 bc	0.24 abc	0.24 a	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$), con prueba de medias de Duncan, MU=*Mucuna pruriens*, MU+R= *M. pruriens* adicionada con EM y BFN, XPE= *Vigna unguiculata* (L), XPE+R= *V. unguiculata* (L) adicionada con EM y BFN, IB= *Phaseolus lunatus* (L), IB+R= *P. lunatus* (L) adicionado con EM y BFN, SSA=arvenses.* Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica.

Cuadro 4. Concentración de micronutrientes en el tejido vegetal de tres abonos verdes (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* y *Phaseolus lunatus*), con y sin adición de

microorganismos simbióticos, cultivados en un suelo luvisol férrico, de abril a julio del 2020, en Chiná, Campeche, México.

Tratamientos	Cantidad de micronutrientes en el tejido vegetal (mg/kg)						Técnica
	Mo	Fe	Mn	Cu	Zn	B	
MU	1.82 ab	546.33 a	126.33 ab	19.93 a	29.30 a	28.73 ab	Espect ICP- OES*
XPE	1.28 ab	378.15 a	164.77 a	7.75 b	25.00 a	26.80 ab	
IB	1.31 ab	499.67 a	78.63 b	8.06 b	27.90 a	24.63 b	
MU+R	2.18 a	355.70 a	169.33 a	19.27 a	31.00 a	32.23 a	
XPE+R	1.36 ab	122.38 a	100.53 ab	7.21 b	26.10 a	24.43 b	
IB+R	1.59 ab	240.59 a	89.40 b	7.58 b	33.93 a	21.63 bc	
SSA (Testigo)	1.00 b	455.00 a	56.40 b	7.19 b	25.13 a	16.04 c	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$), con prueba de medias de Duncan, MU=*Mucuna pruriens*, MU+R= *M. pruriens* adicionada con EM y BFN, XPE= *Vigna unguiculata* (L), XPE+R= *V. unguiculata* (L) adicionada con EM y BFN, IB= *Phaseolus lunatus* (L), IB+R= *P. lunatus* (L) adicionado con EM y BFN, SSA=arvenses.*.* Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica.

Cuadro 5. Macronutrientes (kg ha⁻¹) aportados por de tres abonos verdes (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* y *Phaseolus lunatus*), con y sin adición de microorganismos simbióticos, cultivados en suelo luvisol férrico, de abril a julio del 2020, en Chiná, Campeche, México.

Tratamientos	Cantidad de nutrientes aportados por el tejido vegetal (kg ha ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
MU	83.77 ab	11.23 ab	83.80 ab	73.47 a	11.70 c	6.60 bc
XPE	65.20 abc	11.07 ab	93.50 ab	66.77 ab	16.17 b	8.07 ab
IB	47.67 bc	7.03 bc	55.63 bc	44.70 bc	5.33 d	4.37 bc
MU+R	89.27 ab	8.57 b	64.67 bc	64.83 abc	10.77 c	6.83 bc
XPE+R	104.20 a	15.73 a	127.33 a	67.87 ab	20.10 a	11.77 a
IB+R	52.37 bc	7.90 bc	66.47 bc	40.77 c	5.70 d	5.03 bc
SSA (Testigo)	20.83 c	2.50 c	26.37 c	12.20 d	2.67 d	2.73 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$), con prueba de medias de Duncan, MU=*Mucuna pruriens*, MU+R= *M. pruriens* adicionada con EM y BFN,

XPE= *Vigna unguiculata* (L), XPE+R= *V. unguiculata* (L) adicionada con EM y BFN, IB= *Phaseolus lunatus* (L), IB+R= *P. lunatus* (L) adicionado con EM y BFN, SSA=arvenses.

Cuadro 6. Carbono total y relación carbono-nitrógeno producido por tres abonos verdes (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* y *Phaseolus lunatus*), con y sin adición de microorganismos simbióticos, cultivados en suelo luvisol férrico, de abril a julio del 2020, en Chiná, Campeche, México.

Tratamientos	Carbono Total	Relación C/N	Técnica
MU	45.83 a	21.73 b	Análisis Elemental
XPE	46.87 a	41.83 a	
IB	45.67 a	23.40 ab	
MU+R	45.20 a	18.33 b	
XPE+R	45.60 a	36.83 ab	
IB+R	45.27 a	23.73 ab	
SSA	45.43 a	25.67 ab	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$), con prueba de medias de Duncan, MU=*Mucuna pruriens*, MU+R= *M. pruriens* adicionada con EM y BFN, XPE= *Vigna unguiculata*, XPE+R= *V. unguiculata* adicionada con EM y BFN, IB= *Phaseolus lunatus* (L), IB+R= *P. lunatus* (L) adicionado con EM y BFN, SSA=arvenses.

Capítulo 3

Efecto de abonos verdes inoculados en las propiedades químicas de un luvisol férrico de Campeche, México

Effect of inoculated green manures on the chemical properties of an ferric luvisol from Campeche, Mexico

Gilberto Matos-Pech¹(<http://orcid.org/0000-0001-8217-7384>), Enrique Arcocha-Gómez¹(<http://orcid.org/0000-0002-3879-0453>), Mónica Beatriz López-Hernández¹(<http://orcid.org/0000-0001-8960-7981>), Patricia Garma-Quen²(<http://orcid.org/0000-0003-4347-0347>), Noel Antonio González-Valdivia^{1‡}(<http://orcid.org/0000-0003-0989-1789>), Elías de Jesús Echavarría-Góngora¹(<http://orcid.org/0000-0002-6679-3635>)

¹ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Maestría en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México. CP. 24520.

² Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, San Francisco de Campeche, Campeche, México.

[‡] Autor de correspondencia (noel.gv@china.tecnm.mx).

RESUMEN

Se realizó un experimento en campo con el objetivo de evaluar los efectos de la aplicación de tres abonos verdes de leguminosas sobre algunas propiedades químicas en un luvisol férrico (K'an kab en maya), representativo de las zonas agrícolas del estado de Campeche. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con siete tratamientos: *Mucuna pruriens* L., *Vigna unguiculata* L. y *Phaseolus lunatus* inoculados o no con endomicorrizas y bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno, comparadas con el testigo constituido por la incorporación de arvenses más fosfato diamónico (DAP). Los resultados demuestran que todas las propiedades del suelo estudiadas: Materia orgánica (MOS), conductividad eléctrica (CE), características de pH, así como la determinación del contenido macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y Na), micronutrientes (B, Fe, Mn, Cu, Zn), suma bases intercambiables (meq/100 g) y la relación C/N, se comportaron de manera semejante en términos estadísticos ($p < 0.05$). Los

abonos verdes lograron aportes de nutrientes equiparables a la fertilización que combinaba el DAP con la biomasa incorporada de arvenses, lo cual evidencia, que el uso de abonos verdes, incluso de especies leguminosas cultivadas como alimento en los agroecosistemas de la Península de Yucatán, pueden sustituir la fertilización convencional en luvisoles férricos de Campeche, México.

Palabras clave: *Agroecología, fertilización y abonado, inoculación, sustentabilidad, suelos tropicales*

SUMMARY

An experiment was carried out in the field with the objective of evaluating the effects of the application of three green legume fertilizers on some chemical properties in an iron luvisol (K'an kab in Mayan), representative of the agricultural areas of the state of Campeche. A randomized complete block design was used with seven treatments: *Mucuna pruriens* L., *Vigna unguiculata* L. and *Phaseolus lunatus* inoculated or not with endomycorrhizae and beneficial nitrogen-fixing bacteria, compared with the control constituted by the incorporation of weeds plus diammonium phosphate (DAP). The results show that all the studied soil properties: organic matter (MOS), electrical conductivity (CE), pH characteristics, as well as the determination of the macronutrient content (N, P, K, Ca, Mg and Na), micronutrients (B, Fe, Mn, Cu, Zn), add exchangeable bases (meq/100 g) and the C:N ratio, behaved in a similar way in statistical terms ($p < 0.05$). The green manures achieved nutrient contributions comparable to the fertilization that combined the DAP with the incorporated biomass of weeds, which shows that the use of green manures, even of legume species cultivated as food in the agroecosystems of the Yucatan Peninsula, can replace conventional fertilization in ferric luvisols from Campeche, Mexico.

Index words: *Agroecology, fertilization and fertilization, inoculation, sustainability, tropical soils.*

INTRODUCCIÓN

En México, la nutrición vegetal es un tema de importancia económica, debido a la relación que tiene en el desarrollo de los cultivos. Los fertilizantes sintéticos son en la actualidad, el método más empleado en la solución del problema. El sistema de información agropecuaria y pesquera (SIAP), reporta que el 68% de los 22 millones de hectáreas

cultivadas en México emplean fertilizantes químicos, demostrando la alta dependencia de los productores a este tipo de insumos de fertilización (Guzmán-Flores, 2018).

La producción nacional de fertilizantes no satisface la demanda, recurriendo a importaciones que incrementa los costos. Por ejemplo, Guzmán-Flores (2018) menciona que, en el 2017, se importaron más de 3.8 millones de toneladas de fertilizantes sintéticos, con una erogación superior a los 19.6 billones de pesos. Se estima que, entre un tercio a la mitad de los fertilizantes aplicados y por tanto de la inversión realizada, se pierde por procesos como la lixiviación y volatilización del nitrógeno, ocasionando efectos negativos en el ambiente y en la salud. La contaminación de ríos, lagos y océanos, así como mantos freáticos es ocasionada principalmente por el exceso de nitratos y fosfatos, generados por las actividades agrícolas (Etchevers et al., 2015).

La pérdida de la fertilidad del suelo por acidificación y salinización es otro problema derivado del empleo excesivo de fertilizantes sintéticos. Los abonos verdes, pueden generar una disminución cercana al 50% en el empleo de estas fuentes (Martín y Rivera, 2015) o incluso sustituirlos completamente. Los abonos verdes son considerados o clasificados dentro de los biofertilizantes, como principales fuentes de nitrógeno y otros nutrientes (Guzmán-Flores, 2018).

Con este objetivo, en el presente estudio se evaluó la capacidad de tres abonos verdes de leguminosas empleadas solas o inoculadas con endomicorrizas y bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno sobre algunas propiedades químicas y en el aporte de nutrientes en un luvisol férrico, característico de las zonas agrícolas del estado del estado de Campeche.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio. El estudio se desarrolló en la unidad de producción Rancho Xamantun del Instituto Tecnológico de Chiná, en Chiná, Campeche (19°42' N y 90°25' O y 44 msnm). En donde predomina, el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (INIFAP, 2017).

Diseño experimental. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en lotes de 4×8 m². Los tratamientos

consistieron en: T1 (MUSIN)= *Mucuna* (*Mucuna pruriens* L.), T2 (XPESIN)= Xpelón (*Vigna unguiculata* L.), T3 (IBSIN)= Ibes (*Phaseolus lunatus* L.), T4 (MUCON) = *Mucuna* (*M. pruriens*) inoculada con Endomicorrizas (EM) y Bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno (BFN), T5 (XPECON) = Xpelón (*V. unguiculata*) inoculada con EM y BFN, T6 (IBCON) = Ibes (*P. lunatus*) inoculada con EM y BFN, T7 (ARDAP)= Testigo constituido por la incorporación de arvenses más 200 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (DAP). Las arvenses predominantes en la cenosis fueron *Sorghum halepense*, *Cenchrus equinatus*, *Cucumis* sp., *Amaranthus* spp., *Kalstroemia* spp., *Merremia* spp, *Ipomoea* spp.

Análisis general de suelo. Previo al inicio del experimento se realizó un análisis general de suelo en la parcela experimental a una profundidad de 0.30 m de la capa arable, mediante la técnica cinco de oros, por medio de la cual se tomaron cinco submuestras para conformar una muestra homogénea representativa de todo el terreno (Murillo-Cuevas et al., 2019) la muestra de suelo fue enviada al Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal (LANISAF) para la determinación de las características químicas, antes de la incorporación de los abonos verdes.

Siembra de los abonos verdes. El cultivo de abonos verdes se estableció, respetando las recomendaciones técnicas, con marco de plantación de 0.20 entre plantas y de 0.80 m entre surcos para *V. unguiculata*, y *P. lunatus* (Jara-Claudio y Alejos-Patiño, 2016; Batista de Sousa et al., 2020) y 0.50 m entre plantas y de 0.80 m entre surcos, para *M. pruriens* (Sanclemente-Reyes et al., 2013; Rojas-Molina et al., 2019).

Incorporación al suelo de los abonos verdes. A los 60 días después de la siembra (dds), se tomaron muestras de tejido de todos los tratamientos evaluados para la determinación del contenido de nutrientes en la biomasa aérea, de igual manera se tomaron datos del aporte en materia seca de cada uno de los abonos verdes, consecutivamente los abonos verdes fueron cortados, dejados en campo para un proceso de intemperización de 15 días, posteriormente fueron incorporadas al suelo (Martín et al., 2007; Rivero-Herrada et al., 2016).

Variabes de estudio. Después de un lapso de 30 días de incorporados los abonos verdes al suelo, periodo en que se permitió la descomposición del tejido vegetal, se realizó un análisis

de suelo en cada una de las unidades experimentales a una profundidad de 0.30 m de la capa arable, para la determinación de las propiedades químicas y el aporte de nutrientes de cada uno de los tratamientos evaluados (Murillo-Cuevas et al., 2019). Las variables consideradas fueron el porcentaje de materia orgánica (MOS), conductividad eléctrica (CE), características de pH, así como la determinación del contenido macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y Na), micronutrientes (B, Fe, Mn, Cu, Zn), suma bases intercambiables (meq 100 g⁻¹), relación C:N.

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza de las variables estudiadas para un diseño de bloques completos al azar. Para ello previamente se analizó la normalidad de los datos, esto mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov, así como por método gráfico QQ Plot. La comparación de medias se realizó por medio de la prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$), ampliamente utilizadas en experimentos agropecuarios (Moreno-Ugarteandia, 2015; Fernández-Labrada et al., 2019). El programa empleado para esta prueba fue el InfoStat versión 2020 (Balzarini et al., 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de suelos pre incorporación de abonos verdes. Los resultados del análisis general de suelo (Cuadro 1), lo ubican dentro de los luvisoles férricos, con textura arcillo arenosa (46% arena, 16% limo, 38% arcilla), con buen contenido de materia orgánica, siendo considerado apto para la agricultura. Sin embargo, análisis detallados hechos sobre las propiedades texturales en la parcela experimental demuestran que el luvisol presentaba valores para arena de 6 a 34%, limo de 46 a 59% y arcilla de 18 a 47%, que ubica predominantemente a este suelo con clase textural de franco limoso a franco arcillo limoso. Esta tipología de suelo no presenta dificultades para el manejo agronómico y tampoco riesgos de compactación (Medina-Méndez et al., 2006). Las diferencias entre los análisis pre y post incorporación respecto a las clases texturales pueden deberse a que, en el primer caso, se evaluó una muestra compuesta, mientras que en el segundo caso se enviaron muestras individuales por cada parcela.

Cuadro 1. Propiedades químicas de un luvisol férrico antes de la incorporación de los abonos verdes en Chiná, Campeche, México.

M.O	CE (ds m ⁻¹)	pH	N (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Na (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)
3.92	0.29	7.5	4.1	1.17	518	4580.62	30	941.8

Laboratorio Nacional De Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal (LANISAF). Código: Lan20-Ain-067

Aporte de biomasa seca de la parte aérea en los abonos verdes. El aporte de materia seca (g) por los abonos verdes, resultó superior para con *M. pruriens* inoculada (MUCON) y sin inocular (MUSIN), seguido por las arvenses naturales. No obstante, respecto a la producción de materia seca por unidad de superficie, se concluye que *V. unguiculata*, logró los mayores aportes de materia seca (Cuadro 2).

Cuadro 2. Aporte de biomasa seca de la parte aérea en los abonos verdes evaluados en un luvisol férrico de Chiná, Campeche, México.

Tratamientos	Materia seca (g)	MS (t ha ⁻¹)
MUSIN	149.15	3.73
XPESIN	84.95	5.31
IBSIN	39.45	2.46
MUCON	150.23	3.76
XPECON	99.95	6.25
IBCON	43.53	2.72
ARDAP (Testigo)	133.1	1.33

MUSIN= *Mucuna pruriens* L., XPESIN= *Vigna unguiculata* L., IBSIN= *Phaseolus lunatus* L., MUCON= *M. pruriens* inoculada con Endomicorrizas (EM) y Bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno (BFN), XPECON = *V. unguiculata* inoculada con EM y BFN, IBCON = *P. lunatus* inoculada con EM y BFN, ARDAP= Testigo constituido por la incorporación de arvenses más fosfato diamónico (DAP).

Propiedades químicas en el suelo después de la incorporación de los abonos verdes.

Los resultados del análisis de varianza de las propiedades químicas del suelo no mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p < 0.05$), para las variables consideradas (**Cuadro 3**), encontrándose semejanzas en los contenidos de materia orgánica, conductividad eléctrica y reacción del suelo (pH). El contenido de materia orgánica en este suelo puede considerarse apropiado para el uso agrícola de un suelo calcáreo, es decir, con alta saturación de bases como es el caso y, que, además, puede disminuir la alcalinidad del suelo y los valores del pH.

Los valores de la materia orgánica del suelo se encuentran comprendidos entre el 2 al 4% mencionados por Cruz-Macías et al. (2020), como rangos óptimos para esta característica, puesto que valores por debajo del 2% pueden generar problemas de acidez, mientras que los valores cercanos al 4%, tienden a reducir problemas de toxicidad en cultivos por elementos como el aluminio. Lo anterior se debe a que, como señalan Torres et al. (2017), los contenidos de materia orgánica, tienden a equilibrar las condiciones del pH en suelos ácidos y alcalinos, facilitando la nutrición vegetal.

Cuadro 3. Resultados para las variables químicas del análisis de suelo, después de la incorporación de los abonos verdes con y sin adición de microorganismos simbióticos en Chiná, Campeche, México.

Tratamientos	M.O (%)	CE (ds m ⁻¹)	pH	Relación C/N	Suma de bases disponibles (meq/100 g)
MUSIN	3.67 a	114.80 a	7.58 a	9.62 a	30.10 a
XPESIN	3.68 a	95.57 a	7.51 a	9.62 a	29.40 a
IBSIN	3.94 a	105.67 a	7.70 a	9.84 a	32.63 a
MUCON	3.51 a	92.70 a	7.74 a	9.64 a	30.73 a
XPECON	3.43 a	117.33 a	7.56 a	9.67 a	30.77 a
IBCON	3.44 a	101.63 a	7.56 a	9.69 a	29.33 a
ARDAP	3.60 a	94.87 a	7.64 a	9.56 a	30.70 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$), con prueba de medias de Tukey. MUSIN= *Mucuna pruriens* L., XPESIN= *Vigna unguiculata* L., IBSIN= *Phaseolus lunatus* L., MUCON= *M. pruriens* inoculada con Endomicorrizas (EM) y Bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno (BFN), XPECON = *V. unguiculata* inoculada con EM y BFN, IBCON = *P. lunatus* inoculada con EM y BFN, ARDAP=Testigo arvenses naturales más 200 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (DAP).

Es importante considerar que los abonos verdes permitieron un efecto neutralizador en las condiciones de pH, a través de la incorporación de la materia orgánica como puede observarse con *V. unguiculata* y *P. lunatus* inoculadas, que presentaron numéricamente los valores más bajos en relación al pH. Esto resulta de suma importancia para el uso agrícola de los suelos calcáreos en la Península de Yucatán, los cuales presentan altas cantidades de bases disponibles (Espinosa-Graham y Carrillo-Martínez, 2002), que pueden limitar la disponibilidad del fósforo y microelementos como el Fe, Cu, Zn o Mo, ocasionando

deficiencia de nutrientes en las plantas, que puede reducir los rendimientos y por tanto la rentabilidad esperada (Arizmendi-Galicia et al., 2011; López et al., 2019).

Las relaciones carbono-nitrógeno halladas en el suelo, después de la incorporación de los abonos verdes no mostraron diferencias estadísticas entre todos los tratamientos ($p < 0.05$). La relación C:N está vinculada con la calidad del suelo, debido al efecto que tiene sobre los microorganismos del suelo en la mineralización de la materia orgánica. Alta C:N ocasiona procesos lentos de descomposición de MO, mientras el óptimo para este proceso oscila entre 10 y 14 (Gamarra-Lezcano et al., 2018).

En el caso particular de nuestro estudio los valores hallados en el suelo, están cercanos a 10, destacando el suelo con el abono verde de Ibes (*P. lunatus*) con 9.84, el cual además obtuvo los contenidos más altos de MO. En general todos los abonos verdes estudiados, incluyendo la incorporación de las arvenses más DAP, posibilitan la acción de los microorganismos del suelo. Los tratamientos que incluía *V. unguiculata* y *P. lunatus*, tienen la ventaja de ser preferidos regionalmente en comparación con *M. pruriens* (Cuanalo y Uicab-Covoh, 2005).

Las semejanzas en el aporte de materia orgánica entre los distintos tratamientos experimentales, pueden explicar en gran medida las similitudes entre las otras variables químicas analizadas, debido al efecto estabilizador (“buffer”) de la MO en el pH y la C:N, que a su vez uniforman la acción de los organismos del suelo en la descomposición y mineralización del tejido vegetal incorporado así como, subsecuentemente, la tasa de liberación de los nutrientes (Beltrán-Morales et al., 2005).

Contenido de macronutrientes en el suelo. El contenido de nutrientes mayores, fue estadísticamente igual entre tratamientos ($p < 0.05$). Los contenidos de N, P y K fueron ligera y numéricamente más altos en los abonos verdes en comparación con la fertilización con ARDAP (**Cuadro 4**). Los resultados concuerdan con Fernández-Labrada (2019), quien estudió tres abonos verdes (*Vicia faba*, *Lupinus luteus* y *Trifolium incarnatum*). Al utilizar abonos verdes la disponibilidad de nutrientes en el suelo, se ve influida por la tasa

descomposición de la materia orgánica por la fauna edáfica, proceso que en algunas especies puede llevar cerca de 45 días, coincidiendo con el periodo que se dio en este estudio, para favorecer la descomposición y entonces tomar las muestras de suelo.

Cuadro 4. Macronutrientes en luvisol férrico después de la incorporación de abonos verdes en Chiná, Campeche, México.

Tratamientos	N (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	Na (mg kg ⁻¹)
MUSIN	2.21 a	18.37 a	579.98 a	4802.92 a	519.83 a	77.40 a
XPESIN	2.23 a	13.83 a	551.31 a	4655.96 a	536.04 a	80.47 a
IBSIN	2.32 a	17.00 a	551.31 a	5330.64 a	521.04 a	83.53 a
MUCON	2.12 a	10.93 a	526.55 a	4956.56 a	520.23 a	90.43 a
XPECON	2.06 a	19.27 a	593.02 a	4822.96 a	582.22 a	89.66 a
IBCON	2.06 a	12.67 a	574.77 a	4629.24 a	537.25 a	84.30 a
ARDAP	2.18 a	12.43 a	583.89 a	4876.40 a	547.38 a	88.13 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$), con prueba de medias de Tukey. MUSIN= *Mucuna pruriens* L., XPESIN= *Vigna unguiculata* L., IBSIN= *Phaseolus lunatus* L., MUCON= *M. pruriens* inoculada con Endomicorrizas (EM) y Bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno (BFN), XPECON = *V. unguiculata* inoculada con EM y BFN, IBCON = *P. lunatus* inoculada con EM y BFN, ARDAP= Testigo constituido por la incorporación de arvenses más fosfato diamónico (DAP).

La disponibilidad del fósforo en suelos calcáreos se encuentra dentro de un rango crítico aceptable de 11.9 mg kg⁻¹, para cultivos como el chile habanero, siendo considerado este valor como un nivel aprovechable alto para otros cultivos (Borges-Gómez et al., 2008). Es importante mencionar que el fósforo del suelo, no siempre es aprovechado por los cultivos en su totalidad, pues su disponibilidad real se encuentra afectada por condiciones físicas del suelo como la compactación, la concentración de sales y por rangos de pH alcalino (Gueçaimburu et al., 2019).

Los contenidos de K fueron altos y coincidentes con Medina-Méndez et al. (2006), quienes mencionan que en los suelos de Campeche el promedio es 1.8 cmol kg⁻¹ (ó 703.7 mg kg⁻¹). Sin embargo, de este valor tan solo es aprovechable un promedio de 1 al 2% (Borges-Gómez et al., 2008). La disponibilidad del potasio puede ser afectada por condiciones de pH básico, debido a la acción de los carbonatos, con los cuales forma compuestos estables de baja solubilidad (Restrepo-Patiño, 1982).

Los resultados para el contenido de macronutrientes en el suelo, fueron favorecidos por la incorporación de materia orgánica de los abonos verdes, al mejorar la estructura del suelo, la infiltración y retención de agua (Acevedo et al., 2014). Esto es relevante dado que, con la fertilización convencional, gran parte de los nutrientes se pierden por lixiviación, generando contaminación por nitratos, salinidad y a largo plazo pérdida de la capacidad productiva del suelo (Rivera-Vázquez et al., 2002). La lenta descomposición de la MO y de la liberación de nutrientes en los abonos verdes incorporados, favorece su aprovechamiento por cultivos posteriores durante todo su ciclo (Cruz et al., 2002).

Contenido de micronutrientes en el suelo. No se registraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), respecto al contenido de microelementos, sin embargo, en términos numéricos sobresalió *P. lunatus* inoculada con los elementos como B, Fe, Mn y Cu (**Cuadro 5**). El contenido de micronutrientes en el suelo, es importante en el metabolismo de las plantas, por lo cual la carencia o exceso de los mismos está relacionada con la sanidad vegetal, al hacerlas susceptibles a enfermedades, sobre todo en elementos como Fe, Mn, Zn y Mo (Prieto-Méndez et al., 2009).

Cuadro 5. Micronutrientes en un luvisol férrico después de la incorporación de abonos verdes en Chiná, Campeche, México.

Tratamientos	B (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
MUSIN	0.58 a	5.04 a	19.73 a	1.45 a	0.89 a
XPESIN	0.53 a	4.30 a	15.23 a	1.17 a	0.57 a
IBSIN	0.54 a	4.00 a	15.60 a	1.19 a	0.54 a
MUCON	0.53 a	5.83 a	14.57 a	1.26 a	0.57 a
XPECON	0.61 a	4.94 a	16.83 a	1.35 a	0.57 a
IBCON	0.63 a	4.34 a	20.10 a	1.56 a	0.58 a
ARDAP	0.53 a	4.07 a	19.23 a	1.32 a	0.57 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$), con prueba de medias de Tukey. MUSIN= *Mucuna pruriens* L., XPESIN= *Vigna unguiculata* L., IBSIN= *Phaseolus lunatus* L., MUCON= *M. pruriens* inoculada con Endomicorrizas (EM) y Bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno (BFN), XPECON = *V. unguiculata* inoculada con EM y BFN, IBCON = *P. lunatus* inoculada con EM y BFN, ARDAP= Testigo constituido por la incorporación de arvenses más fosfato diamónico (DAP).

La disponibilidad de estos elementos puede verse afectada por pH de 7.5 a 8.5 (Restrepo-Patiño, 1982; Noval-Artiles et al., 2014) situación que se presentó en el luvisol férrico independientemente del tratamiento experimental evaluado. Por tanto, este pH constituye una

de las propiedades químicas que debe ser considerado como el más limitante en suelos calcáreos. El incremento de los contenidos de MO puede ayudar a corregir este problema y los abonos verdes, si se utilizan como parte del manejo agronómico, junto con la no quema y otras medidas culturales (Cuanalo y Uicab-Covoh, 2005), pueden coadyuvar a lograr acumulativamente ese objetivo.

CONCLUSIONES

La aplicación de abonos verdes en el suelo incluyendo arvenses combinada con DAP, consiguieron aportes de nutrientes equiparables entre sí, así como en otras propiedades químicas estudiadas. Los aportes de materia orgánica fueron altos y ayudaron a mantener las relaciones C:N dentro de rangos aceptables que a su vez permitieron aportes de macro y micronutrientes en niveles no limitantes para la mayoría de los cultivos que pueden establecerse en luvisoles férricos. El pH fue la única propiedad del suelo que quedó dentro de niveles no óptimos y requiere más atención en el manejo de suelos calcáreos. El uso de abonos verdes, dentro de los que se incluyeron dos especies preferidas (*V. unguiculata* y *P. lunatus*) dentro de agroecosistemas en la Península de Yucatán pueden sustituir la fertilización convencional en Campeche, México.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: N.A.G.V. y G.M.P. Metodología: N.A.G.V. Software: G.M.P. Validación: N.A.G.V., E.A.G., M.B.LH., P.G.Q., Y E.D.J.E.G. Análisis formal: N.A.G.V., G.M.P y E.A.G. Investigación: G.M.P. Recursos: E.A.G. Escritura: preparación del borrador original, G.M.P. Escritura: revisión y edición: N.A.G.V. Visualización: G.M.P. Supervisión: N.A.G.V y E.A.G. Adquisición de fondos: E.A.G, N.A.G.V Y E.D.J.E.G.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México, por financiar este experimento mediante el proyecto “Efecto de abonos verdes sobre las características agronómicas del maíz nativo X’mejen Naal en Luvisoles férricos de Campeche, México”, registro 8724.20-P.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, I., Contreras, J., González, R., Acevedo, I., y García, O. (2014). Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo de huerto. *Rev. Fac. Agron.*, 31, 16.
- Arizmendi-Galicia, N., Rivera-Ortiz, P., Cruz-Salazar, F. de la, Castro-Meza, B. I., y Garza-Requena, F. de la. (2011). Lixiviación de hierro quelatado en suelos calcáreos. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 231-237.
- Balzarini, M. G., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., y Robledo, C. W. (2008). *InfoStat. Manual del Usuario* (Editorial Brujas). Universidad Nacional de Córdoba.
- Batista de Sousa, A., Brito da-Silva, V., Almeida-López, A., Ferreira-Gomes, R., y Branco-Carvalho, L. (2020). Prediction of grain yield, adaptability, and stability in landrace varieties of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 20(1). <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n1a15>
- Cruz-Macías, W. O., Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. Á., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Chávez-Hernández, M. H., y Gordillo-Curiel, A. (2020). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 475-480. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>

Beltrán-Morales, F. A., García-Hernández, J. L., Valdez-Cepeda, R. D., Murillo-Amador, B., Troyo-Diequez, E., Larrinaga-Mayoral, J., Ruiz-Espinoza, F. H., Fenech-Larios, L., y García-Rodríguez, F. (2005). Sistemas de labranza, incorporación de abono verde y recuperación de la fertilidad de un Yermosol háplico Tillage Systems, Incorporation of Green Manure, and Fertility Recuperation in a Haplic Yermosol. *Terra Latinoamericana*, 23(3), 381–387.

Borges-Gómez, L., González-Estrada, T., y Soria-Fregoso, M. (2008). Predicción de la demanda nutrimental de potasio para la producción de *capsicum chinense* jacq. En el Sureste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 8(1), 69–80.

Borges-Gómez, L., Soria-Fregoso, M., Casanova-Villarreal, V., Villanueva-Cohuo, E., y Pereyda-Pérez, G. (2008). Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. *Agrociencia*, 42(1), 21–27.

Cruz, A. G., Salgado-García, S., Catzin-Rojas, F. J., y Ortiz-Ceballos, Á. I. (2002). Descomposición del follaje de nescafé (*Mucuna* spp.) en la época seca. *Interciencia*, 27(11), 625–630.

Cuanalo, H. E., y Uicab-Covoh, R. A. (2005). Investigación participativa en la milpa sin quema. 23(4), 587–597.

Espinosa-Graham, L., y Carrillo-Martínez, G. E. (2002). Propiedades geofísicas de rocas y suelos calcáreos. Mediciones de laboratorio en especímenes pequeños. *Ingeniería*, 6(2), 23–32.

Etchevers, J., Saynes, V., Steelers, M., y Roosevelt, F. (2015). Capítulo 4 Manejo sustentable del suelo para la producción agrícola. *Ciencia, Tecnología y desarrollo* (pp. 63-79). Colegio de Postgraduados.

Fernández-Labrada, M., Seoane-Labandeira, S., Illera-Vives, M., y López-Mosquera, M. E. 2019. Evaluación agronómica de abonos verdes de invierno en Galicia (pp.7). *Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. Acta de Horticultura No 82*

Gamarra-Lezcano, C. C., Díaz-Lezcano, M. I., Vera de Ortíz, M., Galeano, M. del P., y Cabrera-Cardús, A. J. N. (2018). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(46), 4–26. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>

Gueçaimburu, J. M., Vázquez, J. M., Tancredi, F., Reposo, G. P., Rojo, V., Martínez, M., y Introcaso, R. M. (2019). Evolución del fósforo disponible a distintos niveles de compactación por tráfico agrícola en un Argiudol típico. *Chilean journal of agricultural and animal sciences*, 35(1), 81–89. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000203>

Guzmán-Flores, J. 2018. Fertilizantes químicos y biofertilizantes en México (pp. 17-29). CEDRSSA. Centro de Estudio para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Cámara de Diputados LXIII Legislatura.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2017. *Agenda técnica agrícola Campeche* (5a ed.).

Jara-Claudio, F. R., y Alejos-Patiño, I. W. (2016). Efecto de la densidad de siembra y abonamiento orgánico en el rendimiento de frejol castilla (*Vigna unguiculata*) en condiciones agroecológicas de Cayhuayna. *Investigación Valdizana*, 10(3), 123-128.

López, F. M., Duval, M., Martínez, J. M., Gabbarini, L., y Galantini, J. (2019). Condicionantes de la disponibilidad de fósforo en suelos bajo siembra directa del sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, 37(1), 158-163.

Martín, G. M., y Rivera, R. (2015). Influencia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: El maíz. *Cultivos Tropicales*, 36, 34-50.

Martín, G.M., Costa-Rouws, J. R., Urquiaga, S., y Rivera, R. A. (2007). Rotación del abono verde *canavalia ensiformes* con maíz y micorrizas arbusculares en un suelo nitisol ródico éutrico de Cuba. *Agronomía Tropical*, 57(4), 313-321.

Medina-Méndez, J., Volke-Haller, V. H., González-Ríos, J., Galvis-Spínola, A., Santiago-Cruz, M. J., y Cortés-Flores, J. L. (2006). Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en luvisoles del estado de Campeche. *Universidad y Ciencia*, 22(2), 175–189.

Moreno-Ugartemendia, B. (2015). Efectos en rendimiento, proteína y calibre de la cebada cervecera a la fertilización nitrogenada y a la aplicación de fungicida en un ambiente de loma en la localidad de Chivilcoy, Provincia de Buenos Aires. <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/438>

Murillo-Cuevas, F., Adame-García, J., Cabrera-Mireles, H., y Fernández-Viveros, J. (2019). Fauna y microflora edáfica asociada a diferentes usos de suelo. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6, 23–33. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1792>

Noval-Artiles, E., García Díaz, J. R., García-López, R., Quiñones-Ramos, R., y Mollineda-Tujillo, Á. (2014). Characterization of some chemical components, in the soil of different agro-ecosystems of cattle farms. *Centro de Investigaciones agropecuarias*, 41(1), 25-31.

Prieto-Méndez, J., González-Ramírez, C. A., Román-Gutiérrez, A. D., y Prieto-García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44.

Restrepo-Patiño, H. 1982. Factores que afectan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (pp.2-7) Biblioteca Digital Agropecuaria de Colombia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/14617>

Rivera-Vázquez, R., Vargas-Pérez, E., Terrazas-Domínguez, S., y Gavi-Reyes, F. (2002). Utilización de imágenes de satélite para determinar áreas con problemas de lixiviación de nitratos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(1), 31–37.

Rivero-Herrada, M., Plaza-Zambrano, P. M., Gaibor-Fernandez, R. R., Leandro, W. M., y Ferreira, E. P. de B. (2016). Abonos verdes y su influencia en el crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L), en condiciones agroecológicas. *Biotecnia*, 18(1), 59–64.

Rojas-Molina, M., Zúñiga-Orozco, A., Peña-Cordero, W., y Montero-Jara, K. (2018). Efecto de la incorporación de *Mucuna* sp. En el cultivo de maíz en un área urbana de Costa Rica. *Repertorio Científico*, 21(1). <https://doi.org/10.22458/rc.v21i1.2389>

Sanclemente-Reyes, O. E., Prager-Mosquera, M., y Beltrán-Acevedo, L. R. (2013). Aporte de Nitrógeno al suelo por *Mucuna pruriens* y su efecto sobre el rendimiento de maíz dulce (*Zea mays* L.). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(2), 149-155. <https://doi.org/10.22490/21456453.978>

Torres, D., Álvarez, J., Contreras, J., Henríquez, M., Hernández, W., Lorbes, J., y Mogollón, J. P. (2017). Identificación de potencialidades y limitaciones de suelos agrícolas del Estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 29(3), 207-218.

Capítulo 4

EFFECTO DE TRES ABONOS VERDES EN LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL MAÍZ NATIVO X'MEJEN NAAL EN CAMPECHE, MÉXICO

EFFECT OF THREE GREEN MANURES ON THE AGRONOMIC CHARACTERISTICS OF NATIVE X'MEJEN NAAL CORN IN CAMPECHE, MEXICO

Gilberto **Matos-Pech**¹, Enrique **Arcocha-Gómez**¹, Mónica Beatriz **López-Hernández**^{1*},
Patricia Margarita **Garma-Quen**², Noel Antonio **González-Valdivia**¹, Elías de Jesús
Echavarría-Góngora¹

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Maestría en Ciencias en
Agroecosistemas Sostenibles, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México. CP.
24520 (monica.lh@china.tecnm.mx)

²Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, San
Francisco de Campeche, Campeche, México.

RESUMEN

En el manejo agronómico del maíz se pueden sustituir los fertilizantes químicos por técnicas de abonado que disminuyan el efecto contaminante del excesivo uso de los primeros. La hipótesis fue que los abonos verdes de leguminosas inoculadas o no, son capaces de promover características agronómicas del maíz X'mején Naal, equiparables con la fertilización convencional. Con el objetivo de medir el efecto en las características agronómicas del maíz X'mején Naal, se diseñó un experimento en bloques completos al azar en un arreglo

bifactorial con cuatro repeticiones, en el cual se probaron tres abonos verdes con o sin inoculación con Fosfonat (endomicorrizas, EM, más bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno, BFN). Los tratamientos fueron: Mucuna (*Mucuna pruriens*, T1=MUC), Xpelón (*Vigna unguiculata*, T2=PEL), Ibes (*Phaseolus lunatus*, T3=IBE), Mucuna inoculada (T4=MUCEM), Xpelón inoculado (T5=PELEM), Ibes inoculado (T6= IBEEM) y el testigo con biomasa incorporada de arvenses más la adición de 200 kg ha⁻¹ de Fosfato diamónico (T7=ARDAP). Los resultados evidenciaron que solo hubo diferencias debidas al tipo de abono verde y a la interacción de estos con los simbiontes inoculados, en el peso o biomasa fresca y seca en maíz X´mejen naal. Destacaron IBE y ARDAP en peso fresco (1162 y 1251 g), materia seca (168.6 y 163.6 g), biomasa aérea seca (7.3 y 8.3 Mg ha⁻¹) del maíz, respectivamente. Aunque los rendimientos de grano de maíz fueron semejantes entre tratamientos, fue notorio que los rendimientos promedios numéricamente más altos también se observaron en IBE y ARDAP con 3.5 y 3.3 Mg ha⁻¹ respectivamente. Todos los rendimientos alcanzaron a expresar el potencial del X´mejen naal, lo que resulta relevante para incentivar el uso de los abonos verdes como alternativa agroecológica a la fertilización convencional en suelos luvisoles de Campeche.

Palabras clave: germoplasma de maíz, fertilización y abonado, agroecología, suelos tropicales, Península de Yucatán.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Campeche, el manejo de la nutrición en cultivos básicos como el maíz (*Zea mays*), se realiza de manera convencional mediante el uso de fertilizantes químicos, que representan el 27% de los costos de producción. Frecuentemente se utiliza fosfato diamónico (DAP) con dosis anuales entre los 50 a 150 kg ha⁻¹, para obtener rendimientos de 3.5 a 4.0

Mg (Megagramo) ha⁻¹ de grano de mayo a julio (temporal) y de 0.4 a 0.6 Mg ha⁻¹ de julio a noviembre (otoño-invierno) (Medina-Méndez *et al.* 2018). La fertilización química puede provocar daños al ambiente.

La producción agrícola exige adoptar prácticas agronómicas sustentables y alternativas a la fertilización convencional. El uso de abonos verdes es una técnica que tiende a ser más utilizada, como fuente de nutrientes en el suelo para los cultivos (Castro *et al.* 2017). En cultivos como el maíz (*Zea mays* L.), la incorporación de abonos verdes ha demostrado una relación directa con los rendimientos de grano, biomasa y contenido nutricional (Sosa-Rodrigues y García-Vivas, 2018).

Los altos costos de los fertilizantes sintéticos y de semillas mejoradas, disminuyen la rentabilidad del cultivo de maíz para los productores (Alvarado-Teyssier *et al.* 2018). Por lo tanto, es importante hallar fuentes alternas y competitivas para la fertilización de este cultivo básico en la alimentación de la población en México. Ante esta situación y considerando que el maíz demanda mucho nitrógeno durante su ciclo de vida, los abonos verdes pueden ser una opción factible (Karyoti *et al.* 2018). En el estado de Campeche, existen pocos estudios relacionados con la problemática de los fertilizantes, la contaminación del subsuelo y la producción de maíz, y menos se conocen del uso de abonos verdes en la región.

La hipótesis fue que los abonos verdes de leguminosas inoculadas o no, son capaces de promover características agronómicas en el maíz nativo (X'mejen Naal), equiparables con la fertilización convencional. El objetivo de la investigación fue estudiar el comportamiento agronómico (crecimiento, desarrollo y rendimiento) del maíz X'mejen Naal, en respuesta a la aplicación de tres leguminosas como abonos verdes, tanto inoculadas como no inoculadas

con una mezcla de endomicorrizas y bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno, con la biomasa incorporada de arvenses más la adición de 200 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El experimento se estableció durante el ciclo agrícola comprendido de julio a diciembre de 2020, en la unidad de producción Rancho Xamantún, del Instituto Tecnológico de Chiná, ubicado en la localidad homónima, en el estado de Campeche (19°42' N y 90°25'O y 44 msnm) (González-Valdivia *et al.* 2019). El clima de la zona es cálido subhúmedo, con precipitación de 900 a 1200 mm y temperatura media anual de 25.5 a 26.4°C. La mayor proporción de precipitación se presenta de junio a octubre, con un periodo seco o canícula entre los meses de julio, agosto y principios de septiembre. El suelo es de tipo luvisol férrico, con buena productividad, profundidad moderada y origen calcáreo, saturados de bases, con alto contenido de arcillas expandibles del grupo de las esméctica y vermiculita de tonalidades rojizas con alta actividad de intercambio iónico (Palma-López *et al.* 2017).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial 3×2 más el control, con cuatro repeticiones, considerando como niveles del factor A: tres especies de abonos verdes (*Mucuna pruriens* L., *Vigna unguiculata* L., y *Phaseolus lunatus* L.), y como niveles del factor B: la inoculación o no de las leguminosas con Endomicorrizas (EM) y Bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno (BFN). La unidad experimental consistió en lotes de 4 × 8 m, con 24 unidades experimentales en total, considerando ambos factores de estudio (A y B) dentro de los bloques. Los tratamientos fueron: Tratamiento 1 (MUC)= *Mucuna* (*M. pruriens*), Tratamiento 2 (PEL)= Xpelón (*V. unguiculata*), Tratamiento 3 (IBE)= Ibes (*P.*

lunatus), Tratamiento 4 (MUCEM)= Mucuna inoculada, Tratamiento 5 (PELEM)= Xpelón inoculado, Tratamiento 6 (IBEEM)= Ibes inoculado y Tratamiento 7 (ARDAP) =Testigo: fertilización con 200 kg ha⁻¹ de Fosfato diamónico, aplicado de forma manual cuando las plantas de maíz alcanzaron los 25 cm de altura. Para el tratamiento testigo, se consideró la fertilización química con Fosfato diamónico, empleada en la región más el aprovechamiento de las arvenses, como abonos verdes naturales, motivo por cual estas no recibieron inóculo.

Siembra e incorporación de abonos verdes

Las semillas de leguminosas Xpelón (*Vigna unguiculata* L.), Ibes (*Phaseolus lunatus* L.), y Mucuna (*Mucuna pruriens* L.) fueron obtenidas de productores de la región, seleccionando las que reunían las mejores características físicas y sanitarias. Estas fueron divididas en dos lotes, uno para ser inoculado y otro no, con una mezcla de Endomicorrizas (EM) y Bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno (BFN). Los microorganismos simbióticos se adicionaron mediante el consorcio comercial Fosfonat, siguiendo las recomendaciones de la empresa Tecnologías Naturales Internacional S.A de C.V.

Después de 60 días de la siembra los abonos verdes fueron cortados, coincidiendo con la etapa de mayor desarrollo vegetativo e inicio de floración. Se intemperizó cada material cortado durante 19 días, dejándolo sobre la superficie de la parcela experimental para favorecer su descomposición de la biomasa vegetal. Posteriormente fueron incorporados uniformemente al suelo con un pase de arado de discos, teniendo cuidado de no mezclar los abonos de cada unidad experimental (Rivero-Herrada *et al.* 2016). Antes de la incorporación se tomaron muestras de tejido vegetal de los abonos verdes, de los surcos centrales de cada unidad experimental, estas se enviaron al laboratorio de la empresa AGQ Labs, para conocer

la cantidad de nutrientes contenidos en la biomasa total, antes de la incorporación de los mismos, al suelo.

Siembra del maíz

El maíz X´mejen naal, de ciclo intermedio, se sembró manualmente con un marco de siembra de 0.80 m entre surcos y de 0.20 m entre plantas, para una densidad de 60 000 plantas ha⁻¹. La fertilización del testigo se realizó a los 15 días después de la siembra, y el manejo agronómico siguió la recomendación de Villalobos-González *et al.* (2019). En todo el experimento se irrigó complementariamente mediante un sistema de riego por aspersión.

Variables de estudio

Variables de crecimiento

Altura de planta (ALTP, m); valor obtenido al finalizar la floración femenina, midiendo desde la base del tallo en el suelo, hasta donde empieza la ramificación de la espiga. Diámetro de tallo (DT, cm), altura de la mazorca (AM, cm), largo de hoja de la mazorca (LHDM), ancho de hoja de la mazorca (AHDM), total de hojas (TH) (Ramírez-Mandujano *et al.* 2016). Índice de área foliar por planta (IAF); se estimó por el promedio del producto de largo por ancho de cada hoja en cinco plantas, afectadas por el factor 0.75 (área de las hojas de la planta, en m²) entre el área del suelo que esta ocupaba (Castellanos-Reyes *et al.* 2017).

Variables fenológicas

Días a floración masculina (DFMAS); se consideró el momento de muestreo cuando el 50% de las espiguillas presentes en la espiga de la planta, presentaban anteras en dehiscencia y expuestas fuera de las glumas. Días a floración femenina (DFFE); se determinó cuando las plantas presentaron el jilote o inflorescencia femenina con los estigmas expuestos.

Asincronía floral (ASF); se consideró como la diferencia entre DFFE y DFMAS) (Ramírez-Mandujano *et al.* 2016).

Características de grano y mazorca en X'mejen naal

Longitud del grano (LG, cm); ancho de grano (AG, cm), grosor de grano (GG, cm), peso de 1000 granos (P1000G), número de granos por hilera (NGH), número de granos normales por mazorca (NGNM); valor obtenido con el conteo del número de granos normales o completamente formados, después de desgranar una muestra compuesta de 10 mazorcas. Número de granos abortados por mazorca (NGAM); se obtuvo al contar el número de granos que no alcanzaron su desarrollo completo en la mazorca. Longitud de la mazorca (LM, cm), diámetro de la mazorca (DM, cm), número de hileras por mazorca (NHM). Diámetro del olote o bacal (DOL, cm), peso del olote (POL, g), y peso de la mazorca (PM, g). (González-Martínez *et al.* 2019; Villalobos-González *et al.* 2019).

VARIABLES DE RENDIMIENTO DE FORRAJE Y GRANO

Peso fresco de la parte aérea de la planta (PF, g) se registró el peso *in situ* de cinco plantas de los surcos centrales de cada unidad experimental. Biomasa aérea final (BAF, g m⁻²); se determinó después de la madurez fisiológica al cosechar las plantas presentes en un área de 1 m², de cuatro surcos centrales, obteniendo el peso seco total de la parte aérea [hojas (lámina + vaina) tallo, mazorca, brácteas, olote o raquis y espiga], dividiéndolo entre el área cosechada. Biomasa total (BMT, Mg ha⁻¹), se estimó al obtener la materia seca por planta y multiplicar este valor por la densidad de plantas por hectárea (Franco-Martínez *et al.* 2015). Rendimiento de grano por planta (RG); valor obtenido después de desgranar las mazorcas de cada planta y pesarlo, para determinar el peso del grano por planta. Rendimiento de grano por hectárea (RGPH, Mg ha⁻¹), se estimó considerando un ajuste de humedad comercial al

14%, del peso total del grano de 10 mazorcas, obtenidas de los surcos centrales de la unidad experimental. Índice de cosecha (IC); calculado como el cociente entre el rendimiento del grano y la biomasa aérea final [(IC = RG / BM) * 100] (Zamudio-González *et al.* 2016).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para las variables estudiadas para un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial 3×2. Previamente se realizaron pruebas de normalidad (Test de Shapiro–Wilk, método gráfico QQ Plot) y homocedasticidad de los datos (ncvTest: Prueba de puntuación para varianza de error no constante). La comparación de medias se realizó con la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Para el análisis de datos se utilizó el programa estadístico R versión 4.0.5 (R Studio Team, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de nutrientes en los abonos verdes antes de la incorporación

Los resultados de los análisis del contenido de nutrientes en la biomasa aérea de los abonos verdes ubicaron el mayor contenido de Nitrógeno en el tejido PELEM, seguido por MUC y MUCEM. Es importante notar los aportes sobresalientes de P, K, Ca y S del abono verde de PELEM, en especial de los contenidos de azufre (Cuadro 1), elemento que, por su acidez, favorece la asimilación de otros macronutrientes en suelos con altos contenidos de Ca (Bender *et al.* 2013; Correndo y García, 2014), como los existentes en la Península de Yucatán, en donde el Ca, se vuelve antagónico de elementos como el fósforo, favoreciendo el uso de esta especie como abono verde en esta región.

El aporte de nutrientes por todos los tratamientos con abonos verdes fue suficiente para satisfacer los requerimientos en macro y microelementos del maíz (Cuadro 1), tomando en

consideración que, para el cultivo del maíz, los nutrientes que se consideran en las fórmulas de fertilización son el N, P y K (Conceição dos Santos *et al.* 2019). Es importante considerar que los requerimientos nutricionales de *Zea mays* en kg ha⁻¹ de macronutrientes se encuentran entre 56-120 (N), 36-50 (P), 10-127 (K), 0-24 (Ca), 0-25 (Mg) y 5-21 (S), para alcanzar rendimientos de 3 a 6 Mg ha⁻¹ (Silva *et al.* 2018; Restrepo-Díaz *et al.* 2017). En el caso de los micronutrientes para rendimientos estimados de 3 a 6 Mg ha⁻¹ de grano, los requerimientos nutricionales se encuentran entre 0.00-0.01 (Mo), 0.32-0.64 (Fe), 0.48-0.97 (Mn), 0.03-0.07 (Cu), 0.14-0.27 (Zn) y 0.05-0.10 (B) (Bender *et al.* 2013; Correndo y García, 2014). Esta demanda nutricional, está comprendida dentro del aporte de nutrientes logrado por los abonos verdes estudiados.

Los altos aportes de Ca en la biomasa vegetal de los abonos verdes no rebasaron los requerimientos máximos, cercanos a los de 57 kg ha⁻¹ para el maíz de alto rendimiento (Silva *et al.* 2018). El suministro de microelementos Fe, Cu y B, quedó dentro del ámbito de necesidades nutrimentales para el maíz de alta productividad (9 a 12 Mg ha⁻¹), que van de 1.12-1.28, 0.12-0.13 y 0.18-0.21 respectivamente (Correndo y García, 2014; Restrepo-Díaz *et al.* 2017).

Para el caso particular del Fe, Stewart *et al.* (2020), mencionan que este micronutriente no representa problemas de exceso para el *Zea mays*, presentando incluso deficiencias de este elemento en suelos calcáreos, esto por la baja solubilidad, generada altos valores de pH, presente en este tipo de suelos. Esta deficiencia pudo corregirse, con el aporte de Fe que proporcionaron los abonos verdes, que en todos los casos superaron al máximo de requerimientos de este elemento para el maíz. En general, ningún signo de carencia o fitotoxicidad por elementos fue detectado en campo, durante el experimento.

Cuadro 1. Aporte de nutrientes por tres abonos verdes (*M. pruriens*, *V. unguiculata* y *P. lunatus*), con y sin inoculación con microorganismos simbióticos, empleados en el cultivo de maíz X´mejen Naal en un luvisol férrico, durante el periodo de julio a diciembre de 2020, en Chiná, Campeche, México.

Trat.	MS [†]	macronutrientes (kg ha ⁻¹)						micronutrientes (kg ha ⁻¹)					
	(Mg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S	Mo	Fe	Mn	Cu	Zn	B
MUC [¶]	3.73	83.77	11.23	83.8	73.47	11.7	6.6	0.01	2.13	0.5	0.08	0.12	0.11
PEL [§]	5.31	65.21	11.07	93.5	66.77	16.17	8.07	0.01	1.57	0.8	0.04	0.13	0.14
IBE ^º	2.46	47.69	7.03	55.63	44.7	5.33	4.37	0.00	1.07	0.18	0.02	0.06	0.06
MUCEM ^ª	3.76	89.29	8.57	64.67	64.83	10.77	6.83	0.01	1.1	0.61	0.07	0.11	0.11
PELEM ^{††}	6.25	104.22	15.73	127.33	67.87	20.1	11.77	0.01	0.88	0.71	0.05	0.18	0.18
IBEEM ^{¶¶}	2.72	52.35	7.9	66.47	40.77	5.7	5.03	0.00	0.71	0.23	0.02	0.09	0.06
ARV ^{§§}	1.33	20.84	2.5	26.37	12.2	2.67	2.73	0.00	0.48	0.06	0.01	0.03	0.02

Trat= tratamiento, [†]MS= Materia seca, [¶]MUC=*Mucuna pruriens*, [§]PEL= *Vigna unguiculata*, ^ºIBE= *Phaseolus lunatus* (L), ^ªMUCEM= *M. pruriens* adicionada con EM y BFN, ^{††}PELEM= *V. unguiculata* adicionada con EM y BFN, ^{¶¶}IBEEM= *P. lunatus* (L) adicionado con EM y BFN, ^{§§}ARV= Testigo con arvenses.

Variables de crecimiento

No mostraron diferencias tanto en los abonos verdes empleados como respecto al manejo de la inoculación o la interacción entre estos dos factores ($p > 0.05$). Los promedios de crecimiento estuvieron comprendidos para las distintas variables como se describe a continuación: ALTP (2.1 y 2.3 m), DT (2.4-2.7 cm), AM (1.3-1.4 m), LHDM (82.3-95.8 cm), AHDM (9.5-10.3 cm), TH (12.5-14.0) e IAF (3.5-4.2). Estos valores coinciden con lo

reportado por Cázares-Sánchez *et al.* (2015) y Villalobos-González *et al.* (2019) en las variedades de X'mejen naal.

La altura de planta y el diámetro de tallo en X'mejen naal se encuentran dentro de los ámbitos frecuentes en variedades resistentes al acame causado por la lluvia y vientos (Velázquez-Cárdelas *et al.* 2018). La selección de semillas, procedente de plantas de talla media dentro de esta variedad, pudieran mejorar aún más esta característica de interés agronómico, si el cultivo se orienta a la producción de grano o hacia plantas de mayor tamaño, si el objetivo es el forraje. La semejanza entre los promedios de las variables de crecimiento ($p>0.05$), demuestran que los abonos verdes estudiados, pueden utilizarse como alternativa a la fertilización química del maíz, recomendada para productores en Campeche por Medina-Méndez *et al.* (2018).

Variables fenológicas

Estas no registraron diferencias en los tratamientos, para los factores estudiados ni en interacción de los mismos ($p>0.05$), con promedios de 52 a 54 para DFMAS, de 54 a 56 para DFFE y de 2 a 4 días para la asincronía floral. El manejo de la fertilización no interfirió con la expresión de las características fenológicas, mismas que están definidas por la genética de X'mejen naal (Villalobos-González *et al.* 2019) y que se expresan de manera estable en ausencia de estrés abiótico. Los abonos verdes empleados en el estudio, resultan equiparables al efecto de ARDAP, produciendo plantas sin evidencia de alteración fisiológica por estar bien nutridas como mencionan Alvarado-Teyssier *et al.* (2018).

Variables de rendimiento

Los abonos verdes y la interacción con la inoculación únicamente mostraron diferencias en el rendimiento de forraje ($p\leq 0.05$). Los valores alcanzados con IBE y los demás abonos

verdes para las variables PF, MS, BAF y BMT (Cuadro 2), estuvieron cercanos a los conseguidos con ARDAP (1251.00 g p⁻¹, 163.6 g, 822.8 g m², 8.3 Mg ha⁻¹), y por tanto las leguminosas son tan eficientes como los fertilizantes químicos, destacando además en su aporte de nutrientes esenciales para la formación de biomasa vegetal, particularmente P, que participa en el desarrollo de raíces y por tanto en la mejora de la capacidad de absorción de los demás nutrientes por el maíz, en suelos calcáreos.

Todos los tratamientos obtuvieron valores semejantes entre sí respecto al número de granos normales por mazorca (NGNM), excepto MUC (338.6 NGNM, p≤0.05) con valores comprendidos entre 359.7 a 405.2 NGNM. *V. unguiculata* y *P. lunatus*, evidenciaron su potencial como abonos verdes frente a *M. pruriens*, pues aún sin inoculación se equipararon para esta variable al ARDAP y al mismo ambas especies presentaron los menores promedios en números granos abortados por mazorca (6.4 y 6.2 NGAM) respectivamente. Mismos que fueron bajos en comparación con los 17 a 36 NGAM reportados por Villalobos-González *et al.* (2019), en X'mejen naal bajo fertilización química.

Los promedios para las distintas variables relacionadas al grano y la mazorca no fueron afectados por los distintos tratamientos, ni en el efecto de abonos verdes más inoculación con simbiontes (p>0.05) y las amplitudes registradas fueron las siguientes: LG (0.9-1.1 cm), AG (0.8-0.9 cm), GG (0.4-0.4 cm), P1000G (268.5-321.3 g), NGH (26.2-30.5), LM (13.8-14.9 cm), DM (4.0-4.3 cm), NHM (12.3-13.5), DOL (2.4-3.0 cm), POL (18.7-21.8 g), y PM (101.9-120.2 g). Estos coinciden con los mencionados por Conceição dos Santos *et al.* (2019) en el maíz X'mejen naal.

Cuadro 2. Resultados para las variables rendimiento del maíz X'mejen naal bajo la influencia de tres abonos verdes (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* y *Phaseolus*

lunatus), con y sin inoculación con microorganismos simbióticos, cultivados en suelo luvisol férrico, durante el periodo de julio a diciembre de 2020, en Chiná, Campeche, México.

Trat.	Factor	PF (g)	MS (g)	BAF (g m ⁻²)	BMT (Mg ha ⁻¹)	PPAU	MPAU	DFPH	RG (g)	RGPH (Mg ha ⁻¹)	IC
MUC [¶]	A	779.0 b	97.4 b	536.5 b	5.4 b	109.0	79.5	51904.8	77.3	2.9	0.6
PEL [§]		942.0 b	119.1 ab	534.9 b	5.4 b	89.8	76.4	42738.0	72.5	2.7	0.5
IBE ^ᵇ		1162.0 ab	168.6 a	653.8 ab	6.5 ab	95.3	83.3	45357.0	81.4	3.2	0.5
ARDAP ^{§§}		1251.0 a	163.6 a	822.8 a	8.3 a	105.5	85.3	50238.3	81.5	3.3	0.4
MUC [¶]	AB	779.0 b	97.4 b	513.0	5.1	114.3	81.5	54404.8	70.0	2.7	0.6
PEL [§]		942.0 ab	119.1 ab	561.0	5.6	98.0	83.0	46666.5	73.5	3.0	0.6
IBE ^ᵇ		1162.0 a	168.6 a	725.1	7.3	93.0	87.3	44285.5	83.5	3.5	0.5
MUCEM ^{¶¶}		937.0 ab	115.7 ab	560.1	5.6	103.8	77.5	49404.8	84.5	3.1	0.6
PELEM ^{††}		990.8 ab	127.5 ab	508.9	5.1	81.5	69.8	38809.5	71.4	2.4	0.5
IBEEM ^{¶¶}		935.5 ab	126.5 ab	582.5	5.8	97.5	79.3	46428.5	79.3	3.0	0.5
ARDAP ^{§§}	1251.0 a	163.6 a	822.8	8.3	105.5	85.3	50238.3	81.5	3.3	0.4	

Medias con letras diferentes presentaron diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$), medias sin letra no difieren entre sí (Tukey, $p > 0.05$), Trat= Tratamientos, [¶]MUC=*Mucuna pruriens*, [§]PEL=*Vigna unguiculata*, ^ᵇIBE=*Phaseolus lunatus* (L), ^{¶¶}MUCEM=*M. pruriens* adicionada con Endomicorrizas (EM) y Bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno (BFN), ^{††}PELEM=*V. unguiculata* adicionada con EM y BFN, ^{¶¶}IBEEM=*P. lunatus* (L) adicionado con EM y BFN, ^{§§}ARDAP= Testigo con incorporación de arvenses más 200 kg ha⁻¹ fosfato diamónico. PF= peso fresco, BAF= Biomasa aérea final, BMT=biomasa total, PPAU= plantas por parcela útil, MPAU= mazorcas por parcela útil, (DFPH) = densidad de final de plantas por

hectárea, RG= rendimiento de grano por planta, RGPH= rendimiento de grano por hectárea, IC= índice de cosecha.

Los rendimientos de grano fueron semejantes entre los abonos verdes y la fertilización con ARDAP ($p>0.05$), por tanto, constituyen técnicas eficientes para garantizar la nutrición del maíz que pueden sustituir el uso de químicos en el cultivo en Campeche y en la península de Yucatán. Contar con alternativas ambientalmente amigables y además solucionen el problema de la nutrición del maíz en Campeche, permitirá lograr rendimientos rentables y sustentables (Ramírez-Jaramillo *et al.* 2018).

Medina-Méndez *et al.* (2018) y Villalobos-González *et al.* (2019), mencionan que las fórmulas de fertilizantes ricas en N y P (p. e.: 92-92-00 y 110-46-00) optimizan la nutrición del maíz en Campeche, permitiendo rendimientos entre 3.0 a 6.2 Mg ha⁻¹ de grano, pero solo el 3% de los productores pueden financiar esta tecnología. Los rendimientos estatales utilizando variedades mejoradas e híbridos están comprendidos entre 2.0 a 3.5 Mg ha⁻¹, coincidiendo con los resultados del presente experimento, pero con la variedad nativa X'mejen naal que tiene la ventaja de ser precoz (ciclo menor a 75 días).

El manejo nutricional en maíces nativos es mencionado por Conceição dos Santos *et al.* (2019), quienes emplearon la fórmula de fertilización 120-80-00, con variedades nativas, incluyendo al maíz X'mejen naal, obteniendo rendimientos para esta variedad de 56.0 a 82.7 g p⁻¹, valores que fueron superados por los tres abonos verdes evaluados. Los rendimientos de IBE y MUCEN, destacan numéricamente por su promedio más alto. Los resultados demuestran la eficiencia de los abonos verdes, sobre todo el caso de *V. unguiculata* y *P.*

lunatus, especies que localmente forman parte del sistema milpa y que además son preferidas regionalmente en comparación con *M. pruriens* (Uuh-Narváez *et al.* 2021).

Los rendimientos de forraje y grano producidos por los abonos verdes en el maíz X'mejjen Naal, de igual modo son significativos en términos de la nutrición animal, pues como señalan Cázares-Sánchez *et al.* (2015) esta variedad nativa presenta además un alto contenido de proteína. De tal modo que la fertilización con abonos verdes, puede representar una opción para el sector agrícola y ganadero en términos de la producción de forraje con una disminución de costos por la adquisición de fertilizantes sintéticos, sumado al beneficio ambiental de este manejo agrícola. Lo anterior favorece el uso de abonos verdes en los luvisoles férricos del estado de Campeche.

CONCLUSIONES

Las características agronómicas medidas coinciden con los descriptores del maíz X'mejjen Naal y los abonos verdes, con y sin adición de microorganismos simbióticos. Estas resultaron semejantes en su efecto en las variables de crecimiento y rendimiento, al tratamiento con arvenses más la adición de 200 kg ha⁻¹ de Fosfato diamónico, por lo que pueden sustituirlo como alternativa de fertilización en el cultivo de maíz. El frijol Ib (*P. lunatus*) que produjo rendimientos en materia seca y grano en el maíz numéricamente superiores a la fertilización convencional, es la mejor opción junto con *V. unguiculata*, al ser ambos partes de la milpa maya ancestral.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT, por la beca otorgada al primer autor. Al Tecnológico Nacional de México, por financiar este experimento con el proyecto (8724.20-P) "Efecto de abonos verdes sobre las características agronómicas del maíz nativo X'mejjen Naal en Luvisoles férricos de

Campeche, México”. Al laboratorio de Agroecología y Agricultura Orgánica Sustentable del Instituto Tecnológico de Chiná por las facilidades otorgadas.

LITERATURA CITADA

- Alvarado-Teyssier R., E. Aceves-Ruiz, J. D. D. Guerrero-Rodríguez, J. I Olvera-Hernández, Á Bustamante-González, S. Vargas-López, y J. H. Hernández-Salgado. 2018. Respuesta de variedades de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes fuentes de fertilización en el Valle de Puebla. *Terra Latinoam.* 36: 49-59. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.309>
- Bender, R. R., J. W Haegele, M. L. Ruffo, and F. E. Below. 2013. Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern, Transgenic Insect-Protected Maize Hybrids. *Agron. J.* 105: 161-170. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352>
- Castellanos-Reyes M. A., R. Valdés-Carmenate, A. López-Gómez, y F. Guridi-Izquierdo. 2017. Mediciones de índices de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz. *Cult. Trop.* 38: 112-116.
- Castro R. E., E. Sierra, J. E. Mojica, J. E. Carulla, y C. E. Lascano. 2017. Efecto de especies y manejo de abonos verdes de leguminosas en la producción y calidad de un cultivo forrajero utilizado en sistemas ganaderos del trópico seco. *Arch. Zootec.* 66: 99-106. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v66i253.2131>
- Cázares-Sánchez E., J. L. Chávez-Servia, Y. Salinas-Moreno, F. Castillo-González, y P. Ramírez-Vallejo. 2015. Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia.* 49: 15-30.
- Conceição dos Santos L. F., R. Garruña, R. H. Andueza-Noh, L. Latournerie-Moreno, J. O. Mijangos-Cortés, y A. Pineda-Doporto. 2019. Comportamiento agronómico y fisiológico de maíces nativos del sureste de México. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 10: 1247-1258. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.908>

- Correndo A. A., y F. O. García. 2014. Bases de la nutrición del cultivo de maíz. IPNI Cono Sur. 6. En: Maíz: Técnicas probadas para una producción rentable. Primera Edición. AACREA. Inter. Plant Nut. Inst. pp: 37-44.
- Franco-Martínez J. R. P., A. González-Huerta, D. D. J. Pérez-López, y M. González-Ronquillo. 2015. Caracterización fenotípica de híbridos y variedades de maíz forrajero en Valles Altos del Estado de México, México. Rev. Mex. Ciencias Agríc. 6: 1915-1927. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i8.529>
- González-Martínez J., V. Vanoye-Eligio, J. C. Chacón-Hernández, y M. Rocandio-Rodríguez. 2019. Diversidad y caracterización de maíces nativos de la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, Tamaulipas, México. CienciaUAT. 14: 6-17. DOI: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1246>
- González-Valdivia N., R. Cauich-Cauich, S. Pérez-Molina, M. Burgos-Campos, y E. Arcocha-Gómez. 2019. Control de *Melanaphis sacchari* (hemiptera: *aphididae*) con entomopatógenos, *beauveria bassiana* y *metarhizium anisopliae* (*hypocreales: clavicipitaceae*), en sorgo, Campeche, México. Act. Agr. Pec. 5: E0051005. DOI: <https://doi.org/10.30973/aap/2019.5.0051005>
- Karyoti A., D. Bartzialis, M. Sakellariou-Makrantonaki, and N. Danalatos. 2018. Effects of irrigation and green manure on corn (*Zea mays* L.) biomass and grain yield. J Soil Sci Plant Nut. 18: 820-832. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005002401>
- Medina-Méndez J., G. Alejo-Santiago, J. M. Soto-Rocha, y M. Hernández-Pérez. 2018. Rendimiento de maíz grano con y sin fertilización en el estado de Campeche. Rev. Mex. Ciencias Agríc. 9: 4306-4316. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1532>

- Palma-López D. J., J. Zavala-Cruz, F. Bautista-Zúñiga, M. A. Morales-Garduza, A. López-Castañeda, E. D. Shirma-Torres, R. Sánchez-Hernández, A. J. Peña-Peña, y S. Tinal-Ortiz. 2017. Clasificación y cartografía de suelos del estado de Campeche, México. *AgroProductividad*. 10: 71-78.
- Ramírez-Jaramillo G., M. G. Lozano-Contreras, y J. H. Ramírez-Silva. 2018. Zonificación productiva para maíz de temporal en la península de Yucatán. *Revista del Centro de Graduados e Investigación. Instituto Tecnológico de Mérida*. 33: 123-128.
- Ramírez-Mandujano C. A., J. C. González-Cortés, A. Ávila-Bautista, y A. A. Hernández-Esquivel. 2016. Eficiencia de selección indirecta en maíz para ambiente futuro por cambio climático. *Rev. Biol. Agro. Tux.* 4: 88-93. DOI: <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v4i1.23>
- Rivero-Herrada M., P. M. Plaza-Zambrano, R. R. Gaibor-Fernández, W. Mozena-Leandro, y E. P. De Brito-Ferreira. 2016. Abonos verdes y su influencia en el crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L), en condiciones agroecológicas. *Biocencia*. 18: 59-64. DOI: <https://doi.org/10.18633/bt.v18i1.245>
- RStudio Team. (2021). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, Ma. <http://www.rstudio.com/>. Consultado: marzo 2021.
- Silva, C. G. M., Á. V. D. Resende, A. M. Gutiérrez, S. G. Moreira, E. Borghi, and G. O Almeida. 2018. Macronutrient uptake and export in transgenic corn under two levels of fertilization. *Pesq Agrop Brasileira*. 53: 1363-1372. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001200009>

- Sosa-Rodrigues B. A., y Y. S. García-Vivas. 2018. Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz fertilizado de forma orgánica y mineral. *Agron. Mesoam.* 29: 207-219. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27127>
- Stewart, Z. P., E. T. Paparozzi, C. S. Wortmann, P. K. Jha, and C. A. Shapiro. 2020. Foliar Micronutrient Application for High-Yield Maize. *Agronomy.* 10: 1946. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121946>
- Uuh-Narváez, J. J., M. A. González-Tamayo, and M. R. Segura-Campos. 2021. A study on nutritional and functional study properties of Mayan plant foods as a new proposal for type 2 diabetes prevention. *Food Chem.* 341: 128247. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128247>
- Velázquez-Cárdelas G. A., A. González-Huerta, D.D. J. Pérez-López, y F. Castillo-González. 2018. Comportamiento de mestizos de maíz en tres localidades del centro de México. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 9: 1217-1230. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i6.1586>
- Villalobos-González A., M. B. López-Hernández, N. A. Valdivia-González, E. Arcocha-Gómez, y J. Medina-Méndez. 2019. Variabilidad genética de características morfológicas de maíz nativo (*Zea mays* L.) en la Península de Yucatán, México. *AgroProductividad.* 12: 15-20. DOI: <https://doi.org/10.32854/agrop.vi0.1486>
- Zamudio-González B., M. Tadeo-Robledo, A. Espinosa-Calderón, N. Martínez-Rodríguez, y A. Turrent-Fernández. 2016. Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de maíz. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 7: 1077-1089. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.233>

Conclusión

Los abonos verdes de las leguminosas estudiadas (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata*, *Phaseolus lunatus*) pueden ser una opción viable para su inclusión, como fuentes alternativas a la fertilización convencional en el cultivo del maíz X´mejen Naal, logrando inducir rendimientos en producción de biomasa y grano equiparables a los alcanzados con la fertilización química, este beneficio es aumentando por la inoculación con endomicorrizas y bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno de los abonos verdes. Respecto al uso de abonos verdes *V. unguiculata*, y *P. lunatus*, son las mejores opciones para la Península de Yucatán, al ser preferidas por la población y cumplir una función doble propósito, al tener potencial para ser usadas como fuentes alternativas de fertilización con gran aporte de macro y micronutrientes, además de ser una fuente de alimentación de calidad nutricional en la dieta humana. Estas especies leguminosas presentan un alto grado de resistencia a condiciones climáticas adversas como son suelos con deficiencia de nutrientes y cierto grado de salinidad. Por lo cual, son un importante recurso genético, que debe ser incluido en planes de conservación y propagación de diversidad vegetal.

Anexos

Anexo 1. Evidencia de envío a revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios

15/10/21 17:55

[ERA] Acuse de recibo de envío - matos240512@gmail.com - Gmail

[ERA] Acuse de recibo de envío Recibidos



Dr. Efraín de la Cruz Lázaro <editorera1@ujat.mx>
para mí

17:27 (hace 27 minutos)

GILBERTO MATOS PECH:

Gracias por enviar el manuscrito "ABONOS VERDES ANCESTRALES: Phaseolus lunatus y Vigna unguiculata POTENCIADORES DEL AGROECOSISTEMA MILPA EN YUCATÁN, MÉXICO: Abonos verdes en sistema milpa" a Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial.

URL del manuscrito: <https://era.ujat.mx/index.php/rera/authorDashboard/submission/3152>
Nombre de usuario/a: matos240512

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Dr. Efraín de la Cruz Lázaro

Ecosistemas y Recursos Agropecuarios <http://era.ujat.mx>

Anexo 2. Evidencia de envío a revista Acta agrícola y pecuaria

The screenshot shows a web browser window displaying the submission management interface for the journal 'Acta Agrícola y Pecuaria'. The page title is 'Envíos' (Submissions). The user is logged in as 'gonzalez_noel'. The interface includes a search bar and a 'Nuevo envío' (New submission) button. A table titled 'Mis envíos asignados' (My assigned submissions) lists one submission:

ID	Author	Title	Status	Comments
248	González-Valdivia	Los NUTRIENTES EN LA BIOMASA SECA DE TRES ABONOS VERDES CULTIVADOS EN LUVISOLES FÉRRICOS DE CAMPECHE, MÉXICO: NUTRIENTES EN ABONOS VERDES	Envío	1

The submission status 'Envío' is circled in red. The footer of the page indicates the platform is provided by OJS / PKP. The browser's taskbar at the bottom shows several open PDF files.

Anexo 3. Evidencia de envío a revista Terra Latinoamericana

2/25/2021

Correo: noel antonio gonzalez valdivia - Outlook

[Terra] Acuse de recibo de envío

Dr. Bernardo Murillo Amador <editor@terralatinoamericana.org.mx>

Jue 18/02/2021 04:35 PM

Para: noel antonio gonzalez valdivia <noel.gv@china.tecnm.mx>

Noel Antonio González Valdivia:

Gracias por enviar el manuscrito "Efecto de abonos verdes inoculados en las propiedades químicas de un luvisol férrico de Campeche, México" a REVISTA TERRA LATINOAMERICANA. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial.

URL del manuscrito:

<https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/authorDashboard/submission/933>

Nombre de usuario/a: noelgv

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Dr. Bernardo Murillo Amador

JOURNAL TERRA LATINOAMERICANA <http://www.terralatinoamericana.org.mx/>

<https://outlook.office.com/mail/junkemail/id/AAMkAGRhZDJkNzQ3LWVvOGItNDVjZi05ZjRmLWQzMGRmMmNjYTgwNwBGAAAAAADSqK5JEQlwQo...>

Anexo 4. Evidencia de envió a revista Agrociencia

ARTÍCULOS CIENTÍFICO ENVIADO PARA PUBLICACIÓN EN REVISTA JCR AGROCIENCIA

De: **Agrociencia Colpos** <agrociencia14@gmail.com>

Date: sáb, 10 abr 2021 a las 8:33

Subject: Agrociencia 2400

To: <betymonic@gmail.com>

Me permito informarle que su manuscrito fue recibido en Agrociencia para revisión inicial previa al proceso de arbitraje, con clave 2400, intitulada: EFECTO DE TRES ABONOS VERDES EN LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL MAÍZ NATIVO X'MEJEN NAAL EN CAMPECHE, MÉXICO, cuyos autores son: Gilberto Matos-Pech, Enrique Arcocha-Gómez, Mónica Beatriz López-Hernández, Patricia Margarita Garma-Quen, Noel Antonio González-Valdivia, Elías de Jesús Echavarría-Góngora.

Después, todas las comunicaciones serán a través de: agrociencia14@gmail.com

Agradezco su interés por publicar en Agrociencia y le saludo atentamente.

Yolanda Feroso Meraz
Editorial del Colegio de Postgraduados
Revista Agrociencia

--

Dra. Mónica Beatriz López Hernández