

Nutrientes de la Biomasa Seca de Tres Abonos Verdes Cultivado en un Luvisol Férrico de Campeche, México Nutrients From the Dry Biomass of Three Green Manures Grown in a Ferric Luvisol from Campeche, Mexico

Noel Antonio González-Valdivia¹, Pedro Salvador-Morales^{1†} y
Enrique Arcocha-Gómez¹

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chiná, Calle 11 s/n entre 22 y 28, Colonia Centro. 24520 Chiná Campeche, México; (N.A.G.V.), (P.S.M.), (E.A.G.).

[†] Autor para correspondencia: pedro.sm@china.tecnm.mx

RESUMEN

Los abonos verdes (AV), constituyen una alternativa a la fertilización convencional basada en el uso de fertilizantes de síntesis industrial que, por su excesivo e ineficiente uso, han contaminado el ambiente y agravado la erosión y degradación de los suelos. El presente trabajo tuvo como objetivo principal determinar, e tres AV inoculados y no inoculados con endomicorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno, el contenido de nutrientes en la biomasa aérea, a los 60 días después de su siembra. Para ello se estimó el contenido de nutrientes presentes en la biomasa seca de tres leguminosas; *Mucuna pruriens* (L.) DC. (MU), *Vigna unguiculata* L. (XPE), y *Phaseolus lunatus* L. (IB), *Mucuna pruriens* inoculada con endomicorrizas (EM) y bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno (BFN) (MU+R), *V. unguiculata* inoculada con EM y BFN (XPE+R), *P. lunatus* inoculada con EM y BFN (IB+R). 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 Mg 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*, forma parte del sistema milpa en Yucatán.

Palabras clave: fertilidad y fertilización, leguminosas, milpa, península de Yucatán, suelos tropicales.

SUMMARY

Green manures (GM) are an alternative to conventional fertilization based on the use of industrial synthesis fertilizers, which, due to their excessive and inefficient use, have contaminated the environment and aggravated soil erosion and degradation, which is why The main objective of this work was to determine the content of nutrients present in the aerial biomass of legumes used as green manures, both inoculated and not inoculated with endomycorrhizas and beneficial nitrogen-fixing bacteria established in a ferric Luvisol soil, for this the nutrient content present in the dry biomass of three legumes used as green fertilizers; *Mucuna pruriens* (L.) DC. (MU), *Vigna unguiculata* L. (XPE), and *Phaseolus lunatus* L. (IB), *Mucuna pruriens* inoculated with endomycorrhizae (EM) and beneficial nitrogen-fixing bacteria (BFN) (MU+R), *V. unguiculata* inoculated with EM and BFN (XPE+R), *P. lunatus* inoculated with EM and BFN (IB+R). The *M. pruriens*, inoculated or not, presented a C/N ratio (18.33 and 21.73) close to the optimum for a green fertilizer, however, XPE+R is superior in the production of dry biomass (6.25 Mg 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



Cita recomendada:

González-Valdivia, N. A., Salvador-Morales, P., & Arcocha-Gómez, E. (2024). Nutrientes de la Biomasa Seca de Tres Abonos Verdes Cultivado en un Luvisol Férrico de Campeche, México. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-11. e2030. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i.2030>

Recibido: 28 de mayo de 2024.
Aceptado: 20 de septiembre de 2024.
Artículo. Volumen 42.
Noviembre de 2024.

Editor de Sección:
Dr. Fernando Ayala Niño

Editor Técnico:
Dr. Fermín Pascual Ramírez



Copyright: © 2024 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

in the regional market, it can be considered as a possible more appropriate fertilizer alternative, thus supporting the capacity of ancient Mayan technology, since *V. unguiculata* was part of the milpa system in Yucatán.

Index words: 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 han contaminado el ambiente, 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, Leyva y Gómez, 2018).

Según Sosa y García (2018), la demanda de nutrientes está relacionada con el ambiente de la zona, así como con el manejo agronómico de cada cultivo y las fuentes de fertilización que se emplean. Por lo tanto, para una eficiente planificación del suministro de nutrientes, es indispensable conocer sus contenidos tanto en fertilizantes convencionales como orgánicos. Dentro de estos últimos se encuentran los abonos verdes (AV) o plantas que se incorporan al suelo aportando nutrientes a través de la descomposición de su biomasa. Como AV destacan las leguminosas herbáceas por su aporte parcial o total de nitrógeno y otros nutrientes al suelo, luego disponibles para los cultivos (Zavala-Sierra *et al.*, 2018).

Los AV, además de ser simbióticos con microorganismos del edafón, pueden contener sustancias químicas que ayudan en el control o supresión de plagas, con lo cual, pueden ayudar a reducir la aplicación de insecticidas (Castillo, Narváez y Hahn, 2016). Las anteriores características descritas sirven de fundamento para el empleo de leguminosas para incrementar la fertilidad de los suelos.

Por lo tanto, 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 endomicorizas y bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno establecidas en suelos tropicales de tipo Luvisol, en Campeche, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio. El experimento se estableció a campo abierto 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 m de altitud). Región de clima cálido subhúmedo, con precipitación y temperatura media de 1200 a 2000 mm y 26 a 27 °C, respectivamente. 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, Cauich, Pérez, Burgos y Arcocha, 2019).

Factores de estudio y diseño experimental. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, se establecieron 24 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.) DC.), T2 (XPE)= Xpelón (*Vigna unguiculata* L.), T3 (IB)= Ibes (*Phaseolus lunatus* L.), T4 (MU+R) = *Mucuna* (*M. pruriens*) inoculada con Endomicorizas (EM) y Bacterias benéficas fijadoras de nitrógeno (BFN), T5 (XPE+R) = Xpelón (*V. unguiculata*) inoculada con EM y BFN, y T6 (IB+R) = Ibes (*P. lunatus*) inoculada con EM y BFN.

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 y Alejos, 2016; Batista, Brito, Almeida, Ferreira y Branco, 2020). *Mucuna* se sembró a 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, Pragner y Beltrán, 2013; Rojas-Molina, Zúñiga, Peña y Montero, 2019). Durante el desarrollo de los AV, se brindó el manejo agronómico correspondiente al control de plagas, enfermedades y manejo de arvenses.

Análisis de suelo y de tejido vegetal. Previo al establecimiento del cultivo, se realizó un muestreo de suelo con la finalidad de conocer la fertilidad del área de estudio, para ello se tomaron muestras a 30 cm de profundidad mediante la técnica cinco de oros, cada punto fue considerada una submuestra, con la ayuda de una pala recta se tomaron las cinco submuestras para conformar una muestra compuesta, mediante la técnica del cuarteo se obtuvo 1.5 kg de suelo, la cual fue depositada en una bolsa plástica y etiqueta para su traslado y resguardo al laboratorio del Instituto Tecnológico de Chiná (Murillo-Cuevas, Adame, Cabrera y Fernández, 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 tratamiento experimental a los 60 días después de su siembra (dds) e inicio de floración.

Variables de Estudio

Biomasa aérea final (MS, g p⁻¹). Esta variable se determinó al cosechar cuatro plantas completas (sin raíz), de los surcos centrales de cada unidad experimental. Para obtener el peso seco, las plantas fueron llevadas al laboratorio de usos múltiples del Instituto Tecnológico de Chiná, donde se lavó con agua corriente y agua destilada, posteriormente fueron secadas en estufa de aire forzada a una temperatura de 75 °C hasta peso constante. La biomasa seca total por hectárea (MS kg ha⁻¹) se estimó como el producto del peso seco por planta y la densidad poblacional de cada uno de los tratamientos evaluados.

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 de los tratamientos. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de análisis agronómicos de la empresa AGQ Labs México, ubicado en Zapopan, Jalisco. Donde se determinó el carbono total de cada tratamiento, mediante la técnica de Análisis Elemental (Cano-Flores, Vela, Acevedo y Valera, 2020).

Contenido nutrimental en los abonos verdes. Con muestras de 300 g obtenidas de follaje y tallos, molidos y secos, por cada tratamiento, se realizaron los análisis foliares para la determinación del contenido de nutrientes presentes, mediante la técnica de Espectroscopía de Plasma ICP-OES y análisis elemental (Jiménez-Heinert, Grijalva y Ponce, 2020): nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y Cobre (Cu). Los contenidos de los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y 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⁻¹) (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. La estimación del contenido de macronutrientes en la biomasa total, considerado como el aporte nutrimental de los AV, la materia seca total de cada tratamiento evaluado se multiplicó por su respectiva concentración nutrimental, empleando para el cálculo la siguiente ecuación (García y Martínez, 2015):

$$CN = MS * [NS / 100] \quad (1)$$

CN = Contenido del nutrimento en la materia seca total (expresado en kg ha⁻¹).

MS = Materia seca total (kg ha⁻¹).

NS = Contenido de nutrimento en la materia seca (kg ha⁻¹).

Relación carbono-nitrógeno. Determinado por medio del cociente entre el carbono y el nitrógeno totales, obtenido de los análisis de tejido de planta completa de cada uno de los tratamientos. Fórmula C/N = Carbono orgánico/Nitrógeno total (Gamarrá-Lezcano, Díaz, Vera, Galeano y Cabrera, 2018).

Análisis estadístico. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza, utilizando el programa estadístico InfoStat v2020 (Balzarini *et al.*, 2008). 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 que se estableció el experimento, que ayudaron a verificar la pertenencia al orden mencionado y a la vez comprender el estado de la fertilidad de este, 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). Los resultados mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos, los valores más altos de contenido de materia seca (Cuadro 2) fueron encontrados en MU+R y MU. La MS producida por *M. pruriens*, fue semejante a lo hallado por (Villarreal-Romero *et al.*, 2014), quienes lograron producir 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.

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.

Table 1. General analysis of the ferric luvisol soil used for the experiment with three species of legumes as green manures (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* and *Phaseolus lunatus*) in Chiná, Campeche, Mexico. From April to July 2020, in China, Campeche, México.

Nutrientes	Concentración	Unidad
Materia Orgánica	3.92	%
CIC	23.87	cmol(+) kg ⁻¹
Nitrógeno	4.10	mg kg ⁻¹
Fósforo	1.17	mg kg ⁻¹
Potasio	518	mg kg ⁻¹
Calcio	4580.62	mg kg ⁻¹
Magnesio	941.80	mg kg ⁻¹
Azufre	20.64	mg kg ⁻¹
Molibdeno	0.06	mg kg ⁻¹
Hierro	2.07	mg kg ⁻¹
Manganeso	2.82	mg kg ⁻¹
Cobre	1.00	mg kg ⁻¹
Zinc	1.47	mg kg ⁻¹
Boro	0.90	mg kg ⁻¹
Sodio	30	mg kg ⁻¹
Selenio	ND	mg kg ⁻¹
Cobalto	0.01	mg kg ⁻¹

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.

Analysis LAN20-AIN-067, carried out by the National Laboratory for Agricultural, Food and Forestry Research and Service "LANISAF", Autonomous University of Chapingo, located on the Mexico - Texcoco Highway, State of Mexico.

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 2.1 Mg ha⁻¹ reportado por (Sosa-Rubio, Cabrera, Pérez y Ortega, 2008), en mucuna evaluada como cultivo con potencial forrajero. También superó los rendimientos de 1.4 Mg ha⁻¹ de MS reportado por Álvarez-Solis, Muñoz, Huerta y Nahed (2016) y de 1.5 Mg 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 Mg ha⁻¹, en el valle de Culiacán, Sinaloa, con una densidad aproximada de 38 900 plantas ha⁻¹. Estas variaciones, posiblemente están relacionadas tanto con la densidad mayor de siembra, así como, por 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 Xpelón (*V. unguiculata* L.), que con o sin organismos simbióticos alcanzó más de 5 Mg ha⁻¹. La materia seca total producida por frijol IB (*P. lunatus*) inoculado (IB+R) fue cercano a las 3 Mg ha⁻¹ (Cuadro 2), tal como indica Gachene, Mureithi, Anyika y Makau (2000). Asimismo, IB+R alcanzó entre 2.8 a 5.9 Mg ha⁻¹ de MS. Tanto Xpelón, como el frijol Ib o lbes, 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 *et al.*, 2020). El Xpelón es en todo caso, la mejor de ambas opciones, si solo se considera la productividad de biomasa.

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.

Table 2. Dry matter and total biomass produced by three green fertilizers (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* and *Phaseolus lunatus*), with and without the addition of symbiotic microorganisms, grown in ferric luvisol soil, from April to July 2020, in Chiná, Campeche, Mexico.

Tratamientos	Materia seca g p ⁻¹	Biomasa seca Mg 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

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.

Means with a common letter are not significantly different ($P < 0.05$), with Duncan test of means, MU= *Mucuna pruriens*, MU+R= *M. pruriens* added with EM and BFN, XPE = *Vigna unguiculata*, XPE+R= *V. unguiculata* added with EM and BFN, IB = *Phaseolus lunatus* (L), IB+R= *P. lunatus* added with EM and BFN.

Contenidos de macronutrientes. Los análisis de varianza realizados mostraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre los contenidos porcentuales de los macronutrientes N, Ca, Mg y S, en los AV, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$), entre los contenidos de P y K (Cuadro 3).

El caso del fósforo es importante por ser un elemento altamente restrictivo para el crecimiento y productividad de los cultivos en suelos calcáreos. Los contenidos de fósforo (P), en la biomasa estimada para los AV explorados, fluctúa entre 2.3 a 3 kg P Mg⁻¹ MS, valores que representan altos contenidos del elemento en los tejidos. Tapia y García (2013), consideran esta propiedad de los AV como útil para el mejoramiento de suelos por la alta concentración de fósforo (P) en tejidos vegetales, siempre que estén presentes los microorganismos especializados en liberar este elemento de la materia orgánica. La capacidad de aporte nutrimental por la biomasa vegetal de los AV estudiados, resulta de vital importancia para poder ser empleados en la fertilización de los suelos luvisoles en Campeche y la región.

El tratamiento MU+R produjo la concentración de N más alta, seguido por MU e IB, respectivamente (Cuadro 3). Villarreal-Romero et al. (2014), encontraron que los mayores porcentajes de N, son hallados en el tejido vegetal de *M. pruriens* a los 80 dds, con un promedio de 3.24% -N, mayores que los aquí reportados. Esto concuerda con la presente investigación en donde la determinación del aporte de nutrientes por los AV, se realizó durante la etapa de máximo desarrollo vegetativo.

Tanto IB e IB+R, generaron mayores porcentajes de K, pero no fueron diferentes ($P < 0.05$) a los demás tratamientos (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 la inoculación y superaron en esta característica al IB y SSA. Cuando el Xpelón es inoculado (XPE+R), sus contenidos de azufre se asemejan a los demás y mejora sus características como AV para suelos calcáreos.

Los Luvisoles férricos en Campeche, suelen poseer altas concentraciones de Ca, que se vuelven antagónicos del P, K y Mg haciéndolos no disponible para la nutrición de los cultivos. Lo anterior se corrige con enmiendas acidificantes del suelo, principalmente con la adición de sulfatos u enmiendas ricas 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.

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.

Table 3. Concentration of macronutrients in the plant tissue of three green manures (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* and *Phaseolus lunatus*), with and without the addition of symbiotic microorganisms, grown in ferric luvisol soil, from April to July 2020, in Chiná, Campeche, Mexico.

Tratamientos	Cantidad de macronutrientes en el tejido vegetal					
	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
MU+R	2.49 a	0.25 a	1.84 a	1.85 a	0.31 ab	0.19 ab
XPE+R	1.54 b	0.23 a	1.86 a	0.95 c	0.28 abc	0.17 ab
IB+R	1.93 ab	0.29 a	2.43 a	1.53 ab	0.21 c	0.19 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* (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. * Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica.

Means with a common letter are not significantly different ($P < 0.05$), with Duncan test of means, MU = *Mucuna pruriens*, MU+R = *M. pruriens* added with EM and BFN, XPE = *Vigna unguiculata* (L), XPE+R = *V. unguiculata* (L) added with EM and BFN, IB = *Phaseolus lunatus* (L), IB+R = *P. lunatus* (L) added with EM and BFN. * Inductively coupled plasma in optical emission spectroscopy.

Con la inclusión de los AV en el sistema de policultivos (milpa), como por ejemplo el asocio del maíz (*Zea mays*) con el frijol Ib (*P. lunatus*), leguminosa con altos aportes de N y S, así como de P y K, se fortalecería más la idea de que los cultivos mutuamente complementarios de este sistema tradicional resultaron histórica y gradualmente seleccionados por su efectividad sinérgica y adaptada a los suelos calcáreos de la zona Maya. Destacando de esta manera el gran potencial de los AV como alternativas ancestrales en el manejo de la fertilización y nutrición vegetal (Mariaca-Méndez, 2015).

El trabajo de Mariaca-Méndez, (2015) documentó, a partir de la llegada de los españoles, la existencia del sistema de policultivo maíz-frijol; sin embargo, por tratarse de especies domesticadas localmente se puede concluir que la práctica es preshispánica. Los resultados de este estudio fortalecen la idea de que el asocio del maíz (*Zea mays*) con el frijol Ib (*P. lunatus*), fueron histórica y gradualmente seleccionados por su efectividad sinérgica en los suelos calcáreos de la zona Maya. Esa fuerte relación permitió altos aportes de N y S, así como de P y K, por parte de la leguminosa.

Contenido de micronutrientes. Los resultados del análisis de varianza ($P < 0.05$) mostraron diferencias significativas únicamente para Mo, Mn, Cu y B; sin embargo, en la concentración de Zn los tratamientos no tuvieron diferencias significativas y se concluye 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 Mo fue mayor en MU+R y los demás tratamientos ubicados como intermedios entre estos dos extremos. MU+R y XPE lograron la máxima concentración de Mn, mientras los contenidos de Cu, fueron más altos con MU y MU+R. Estos últimos tratamientos lograron generar los mayores porcentajes de B (Cuadro 4). Estudios realizados en la biomasa aérea de *Mucuna pruriens* por Vega y Leblanc (2013), reportaron concentraciones de los macronutrientes P (0.28%), Mg (0.28%) y Zn (28 mg kg⁻¹), semejantes a las obtenidas en el caso de Campechemg kg⁻¹, pero con porcentajes inferiores de K (0.61%), Ca (0.49%), Fe (94 mg kg⁻¹), Cu (16 mg kg⁻¹) y Mn (157 mg kg⁻¹). Sin embargo, los mismos autores obtuvieron un contenido de 4.61% de N, cerca del doble respecto a este estudio, que pudo deberse a la fertilización química adicional a los AV.

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 los tratamientos evaluados; resultando los valores más altos en el tratamiento XPE+R, seguido por MU+R y del MU, en cambio, el abono verde de IB presentó el valor más bajo dentro de las leguminosas (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 en alta densidad de plantas.

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.

Table 4. Concentration of micronutrients in the plant tissue of three green manures (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* and *Phaseolus lunatus*), with and without the addition of symbiotic microorganisms, grown in a ferric luvisol soil, from April to July 2020, in China, Campeche, Mexico.

Tratamientos	Cantidad de micronutrientes en el tejido vegetal					
	Mo	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	----- mg kg ⁻¹ -----					
MU	1.82 ab	546.33 a	126.33 ab	19.93 a	29.30 a	28.73 ab
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

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.* Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica.

Means with a common letter are not significantly different ($P < 0.05$), with Duncan test of means, MU = *Mucuna pruriens*, MU+R = *M. pruriens* added with EM and BFN, XPE = *Vigna unguiculata* (L), XPE+R = *V. unguiculata* (L) added with EM and BFN, IB = *Phaseolus lunatus* (L), IB+R = *P. lunatus* (L) added with EM and BFN.
* Inductively coupled plasma in optical emission spectroscopy.

Valores de 69.60 kg ha⁻¹ de N (Vega y Leblanc, 2013) y de 78.70 kg ha⁻¹ de N (Sosa, Sánchez y Sanclemente, 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, ser considerados altos.

Respecto a los contenidos de fósforo, el tratamiento de XPE+R sobresalió más, seguido de los tratamientos MU y XPE con cantidades de P muy similares entre sí. Los valores de los contenidos de fósforo para MU fueron similares a los hallados por Sosa 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 y MU, lograron producir los mayores contenidos de K por hectárea ($P < 0.05$). Los demás tratamientos presentaron aportes semejantes entre sí.

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.

Table 5. Macronutrients (kg ha⁻¹) provided by three green fertilizers (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* and *Phaseolus lunatus*), with and without the addition of symbiotic microorganisms, grown in ferric luvisol soil, from April to July 2020, in China, Campeche, México.

Tratamientos	Cantidad de nutrientes aportados por el tejido vegetal					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----					
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

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.

Means with a common letter are not significantly different ($P > 0.05$), with Duncan test of means, MU = *Mucuna pruriens*, MU+R = *M. pruriens* added with EM and BFN, XPE = *Vigna unguiculata* (L), XPE+R = *V. unguiculata* (L) added with EM and BFN, IB = *Phaseolus lunatus* (L), IB+R = *P. lunatus* (L) added with EM and BFN.

El mayor aporte de Ca se obtuvo con MU, seguido por XPE+R y XPE, este mismo comportamiento se observó en 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 lbes 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 no aprovechables para la planta. El potencial observado de la asociación AV y 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 observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los AV. Los AV evaluados dejan una huella de carbono proporcional a la materia seca producida, cercana del 45% del peso seco (Carbajal-Ávila, Rodríguez, Ávila, Rodríguez-Herrera y Hernández, 2017). En el presente estudio, 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 fueron 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 mejores, para su inclusión en programas de sustentabilidad como abonos verdes, pues logran generar grandes cantidades de biomasa y es proporcional a sus concentraciones de carbono (Colque y Ruíz, 2019).

Sin embargo, la relación carbono/nitrógeno mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los AV. Los tratamientos XPE, XPE+R, IB+R e IB presentan relación C/N mayores al 20%, siendo el límite superior óptimo en el suelo. Tanto MU como MU+R se aproximan a este valor de referencia en su relación C/N, por lo cual representan una opción viable para su empleo como AV, los microorganismos del suelo mineralizan la materia 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 la capacidad de descomposición y mineralización de la materia orgánica en el suelo, de tal manera que las relaciones C/N altas, perjudican estos mecanismos (Cantú-Silva y Yáñez, 2018). Por tanto, *M. pruriens* resulta el mejor tratamiento, con valores cercanos a los hallados por Sosa *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 a 20.

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.

Table 6. Total carbon and carbon-nitrogen ratio produced by three green fertilizers (*Mucuna pruriens*, *Vigna unguiculata* and *Phaseolus lunatus*), with and without the addition of symbiotic microorganisms, grown in ferric luvisol soil, from April to July 2020, in China, Campeche, Mexico.

Tratamientos	Carbono Total	Relación C/N
MU	45.83 a	21.73 b
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

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.

Means with a common letter are not significantly different ($P < 0.05$), with Duncan test of means, MU = *Mucuna pruriens*, MU+R = *M. pruriens* added with EM and BFN, XPE = *Vigna unguiculata*, XPE+R = *V. unguiculata* added with EM and BFN, IB = *Phaseolus lunatus* (L), IB+R = *P. lunatus* (L) added with EM and BFN.

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, Lwanga, Quej y Novelo, 2015; Dávila, Rendón y de León, 2022). Tales como lombrices de tierra, ciempiés (quilópodos), milpiés (diplópodos), cochinillas (isópodos) y caracoles (gastrópodos), además de hormigas y termitas (Cupul-Magaña, 2013; Dávila *et al.*, 2022). 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, con mayor presencia en suelos con altas cantidades de materia orgánica (Váldez-Ramírez, Levy, León, Navarrete y Ortiz, 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 sistema milpa maya, asociación calabaza, maíz y frijol (Ebel, Pozas, Soria y Cruz, 2017). De igual manera, se justificaría la permanencia a través del tiempo, de variedades de leguminosas locales como el Xpelón y el lbes, materiales genéticos aún incluidos en los sistemas de producción (Mariaca-Méndez, 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, Abbott, Negrete y Andrés, 2016). De esta manera, utilizar abonos verdes de leguminosas puede favorecer la diversidad e interrelaciones de la macrofauna edáfica durante el proceso de establecimiento, y su posterior efecto en la descomposición de estos. 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 consiguiente la disponibilidad del nitrógeno para los cultivos posteriores será menor en el corto plazo, aunque se disminuyen las 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 *et al.*, 2014; Gamarra-Lezcano *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

Las leguminosas cultivadas 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 endomicorizas y bacterias fijadoras de nitrógeno.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: N.A.G.V., P.S.M. y E.A.G. Metodología: N.A.G.V., P.S.M. y E.A.G. Investigación: N.A.G.V., P.S.M. y E.A.G. Recursos: N.A.G.V. y E.A.G. Escritura, preparación del borrador original: N.A.G.V. Escritura, revisión y edición: N.A.G.V. y P.S.M. Supervisión: E.A.G. Administración del proyecto: N.A.G.V. y E.A.G. Adquisición de fondos: N.A.G.V. y E.A.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”, registró 8724.20-P.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Solís, J. D., 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(1), 29-39. <https://doi.org/10.15517/rac.v40i1.25322>
- Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., & Robledo, C. W. (2008). InfoStat. Manual del Usuario. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas.
- Batista de Sousa, A. M. C., Brito-Da Silva, V., Almeida-Lopes A. C., Ferreira-Gomes, R. L., & Branco-Carvalho, L. C. (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>
- 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, A. A., Ávila-Caballero, L. P., Rodríguez-Herrera, A. L., & Hernández-Cocoletzi, 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-Donégá, 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, F. G. (2013). Chilopoda: La diversidad de los ciempiés (Chilopoda) de México. *Dugesiana*, 20, 17-41. <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v20i1.4076>
- Dávila, G. D. L. C. C., Rendón, J. A. S., & de León-Lima, D. P. (2022). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana*, 221, 1-21
- Ebel, R., Pozas-Cárdenas, J. G., 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, C. K. K., Mureithi, J. G., 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*. Nairobi, República de Kenia: Universidad de Nairobi.
- Gamarra-Lezcano, C. C., Díaz-Lezcano, M. I., Vera-de Ortiz, M., Galeano, M. D. P., & Cabrera-Cardús, A. J. N. (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, J. S., & Martínez-Menez M. R. (2015). *Abonos verdes*. Estado de México, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural pesca y alimentación.
- Gavito, M. E., Wal, H. V. D., Aldasoro, E. M., Ayala-Orozco, B., Bullén, A. A., Cach-Pérez, M., ... & 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, N. A., Cauich-Cauich, R., Pérez-Molina, S. H., Burgos-Campos, M. A., & 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). (2015). Agenda Técnica Agrícola Campeche. Consultado el 15 de octubre, 2020, desde https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content
- Jara-Claudio, F. R., & Alejos-Patiño, I. W. (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, M. E., Grijalva-Endara, A. M., & Ponce-Solórzano, H. X. (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, E. M., Mijangos-Cortés, J. O., Andueza-Noh, R. H., Chávez-Pesqueira, M., Simá-Polanco, P., Simá-Gómez, J. L., & Arias-Reyes, L. M. (2020). Estrategias de manejo de la milpa maya en Xoy, Peto, Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(1), 1-8. <https://doi.org/10.19136/era.a7n1.2244>

- Mariaca-Méndez, R. (2015). La milpa maya yucateca en el siglo XVI: Evidencias etnohistóricas y conjeturas. *Etnobiología*, 13, 1-38.
- Martínez-Mera, E. A., Valencia, E., & Cuevas, H. E. (2016). Evaluación del rendimiento de maíz dulce (*Zea mays* 'Suresweet') con las leguminosas coberteras mucuna enana (*Mucuna pruriens*) y crotalaria (*Crotalaria júncea* 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>
- Pauli, N., Abbott, L. K., Negrete-Yankelevich, S., & Andrés, P. (2016). Farmers' knowledge and use of soil fauna in agriculture: a worldwide review. *Ecology and Society*, 21(3), 1-19.
- 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.
- Rojas-Molina, M. L., 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. <https://doi.org/10.22458/rc.v21i1.2389>
- Sanclemente-Reyes, Ó. E., Prager-Móscuera, M., & 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: 149-155. <https://doi.org/10.22490/21456453.978>
- Sosa-Rodríguez, B. A., & García-Vivas, Y. S. (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, B. A., Sánchez de Prager, M., & Sanclemente-Reyes, O. E. (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, E. E., 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(3), 231-242.
- Váldez-Ramírez, C., Levy-Tacher, S. I., León-Martínez, N. S., Navarrete-Gutiérrez, D. A., & Ortiz-Ceballos, Á. I. (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. *Terra latinoamericana*, 38, 289-300. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.464>
- Vega, J. M., Lwanga, E. H., Quej, V. M. K., & Novelo, P. (2015). Imprescindibles servicios ecosistémicos de los suelos. *Ecofronteras*, 19, 10-13.
- Vega, P. F., & 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-Ruiz, R. (2014). Biomasa y captura de nitrógeno de cultivares de *Mucuna pruriens* (L.) DC. y su descomposición en el suelo. ITEA, información técnica económica agraria. *Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario*, 110, 18-33. <https://doi.org/10.12706/itea.2014.002>
- Zavala-Sierra, D., Rodríguez-Ortiz, J. C., Alcalá-Jáuregui, J. A., Ruiz-Espinoza, F. H., 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(20), 4323-4330. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.1001>