







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, México

Gilberto Matos-Pech¹ , Enrique Arcocha-Gómez¹ ,
Mónica Beatriz López-Hernández¹ , Patricia Garma-Quen² ,
Noel Antonio González-Valdivia^{1*}  y Elías de Jesús Echavarría-Góngora¹ 

¹Tecnológico Nacional de México (TecNM). Instituto Tecnológico de Chiná. Calle 11 s/n. entre 22 y 28, Chiná. 24520 Campeche, Campeche, México.

* Autor para correspondencia (noel.gv@china.tecnm.mx).

²Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Avenida Ing. Humberto Lanz Cárdenas s/n. Colonia ex hacienda Kalá. 24085 San Francisco de Campeche, Campeche, México.

Editora de Sección: Dra. Gabriela Rodríguez Licea

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

Cita recomendada:

Matos-Pech, G., Arcocha-Gómez, E., López-Hernández, M. B., Garma-Quen, P., González-Valdivia, N. A. y Echavarría-Góngora, E. J. (2022). Efecto de abonos verdes inoculados en las propiedades químicas de un luvisol férrico de Campeche, México. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-9. e933. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.933>

Recibido: 15 de marzo de 2021. Aceptado: 31 de enero de 2022.
Artículo. Volumen 40, junio de 2022.

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, 2018).

La producción nacional de fertilizantes no satisface la demanda, recurriendo a importaciones que incrementan los costos. Por ejemplo, Guzmán (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 a 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, Saynes, Steelers y Roosevelt, 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, 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 m de altitud). 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., *Kallstroemia* 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, Adame, Cabrera y Fernandez, 2019) que 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 y Alejos, 2016; Batista de Sousa, Brito, Almeida, Ferreira y Branco, 2020) y 0.50 m entre plantas y de 0.80 m entre surcos, para *M. pruriens* (Sanclemente-Reyes, Prager y Beltran, 2013; Rojas-Molina, Zuñiga, Peña y Montero, 2018).

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 (Martin, Costa, Urquiaga y Rivera, 2007; Rivero-Herrada, Plaza, Gaibor, Leandro y Ferreira, 2016).

Variables 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 *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-Ugartemendia, 2015¹; Fernández-Labrada, Seone, Illera y López, 2019) El programa empleado para esta prueba fue el InfoStat versión 2020 (Balzarini *et al.*, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Suelos Preincorporación 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 *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.

Aporte de Biomasa Seca de la parte Aérea en los Abonos Verdes

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

Table 1. Chemical properties of a ferric luvisol before the incorporation of green manures in China, Campeche, Mexico.

M.O	CE	pH	N	P	K	Ca	Na	Mg
	ds m ⁻¹		----- 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.

*National Research Laboratory and Agrifood and Forestry Service (LANISAF). Code: Lan20-Ain-067.

¹ 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*. Tesis para obtener el grado de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/438>

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).

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

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

Table 2. Contribution of dry biomass of the aerial part in green manures evaluated in an ferric luvisol from China, Campeche, Mexico.

Tratamientos	Materia seca	MS
	g	Mg 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).

*MUSIN = *Mucuna pruriens* L.; XPESIN = *Vigna unguiculata* L.; IBSIN = *Phaseolus lunatus* L.; MUCON = *M. pruriens* inoculated with endomycorrhizae (EM) and beneficial nitrogen fixing bacteria (BFN); XPECON = *V. unguiculata* inoculated with EM and BFN; IBCON = *P. lunatus* inoculated with EM and BFN; ARDAP = Control constituted by the incorporation of weeds plus diammonium phosphate (DAP).

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-Macias *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.

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 y Carillo, 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, Rivera, Cruz, Castro y De la Garza, 2011; López, Duval, Martínez, Gabbarini y Gaslantini, 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, Diaz, Vera, Galeano y Cabrera, 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*,

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.**Table 3. Results for the chemical variables of the soil analysis, after the incorporation of green manures with and without the addition of symbiotic microorganisms in China, Campeche, Mexico.**

Tratamientos	M.O	CE	pH	Relación C/N	Suma de bases disponibles
	%	ds m ⁻¹			meq 100 g ⁻¹
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).

*Means with a common letter are not significantly different ($P < 0.05$), with Tukey's means test. MUSIN = *Mucuna pruriens* L.; XPESIN = *Vigna unguiculata* L.; IBSIN = *Phaseolus lunatus* L.; MUCON = *M. pruriens* inoculated with endomycorrhizae (EM) and beneficial nitrogen fixing bacteria (BFN); XPECON = *V. unguiculata* inoculated with EM and BFN; IBCON = *P. lunatus* inoculated with EM and BFN; ARDAP = Control natural weeds plus 200 kg ha⁻¹ of diammonium phosphate (DAP).

tienen la ventaja de ser preferidos regionalmente en comparación *M. pruriens* (Cuanalo y Uicab, 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

Cuadro 4. Macronutrientes en luvisol férrico después de la incorporación de abonos verdes en Chiná, Campeche, México.**Table 4. Macronutrients in ferric luvisol after the incorporation of green manures in China, Campeche, Mexico.**

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	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).

*Means with a common letter are not significantly different ($P < 0.05$), with Tukey's means test. MUSIN = *Mucuna pruriens* L.; XPESIN = *Vigna unguiculata* L.; IBSIN = *Phaseolus lunatus* L.; MUCON = *M. pruriens* inoculated with endomycorrhizae (EM) and beneficial nitrogen fixing bacteria (BFN); XPECON = *V. unguiculata* inoculated with EM and BFN; IBCON = *P. lunatus* inoculated with EM and BFN; ARDAP = Control constituted by the incorporation of weeds plus diammonium phosphate (DAP).

Cuadro 5. Micronutrientes en un luvisol férrico después de la incorporación de abonos verdes en Chiná, Campeche, México.
Table 5. Micronutrients in a ferric luvisol after the incorporation of green manures in China, Campeche, Mexico.

Tratamientos	B	Fe	Mn	Cu	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).

*Means with a common letter are not significantly different ($P < 0.05$), with Tukey's means test. MUSIN= *Mucuna pruriens* L.; XPESIN = *Vigna unguiculata* L.; IBSIN = *Phaseolus lunatus* L.; MUCON = *M. pruriens* inoculated with endomycorrhizae (EM) and beneficial nitrogen fixing bacteria (BFN); XPECON = *V. unguiculata* inoculated with EM and BFN; IBCON = *P. lunatus* inoculated with EM and BFN; ARDAP = Control constituted by the incorporation of weeds plus diammonium phosphate (DAP).

suelo en la descomposición y mineralización del tejido vegetal incorporado así como, subsecuentemente, la tasa de liberación de los nutrientes (Beltran *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 *et al.* (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.

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, González y Soria, 2008a). 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 *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, Soria, Casanova, Villanueva y Pereyda, 2008b). 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, 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, Contreras, González, Acevedo y García, 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, Vargas, Terrazas y Gavi, 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, Salgado, Catzin y Ortíz, 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, González, Román y Prieto, 2009).

La disponibilidad de estos elementos puede verse afectada por pH de 7.5 a 8.5 (Restrepo, 1982; Noval, Garcia, Garcia, Quiñones y Mollineda, 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, 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., & García, O. (2014). Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo de huerto. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 31(3), 325-340.
- Arizmendi-Galicia, N., Rivera-Ortiz, P., Cruz-Salazar, F. D. L., Castro-Meza, B. I., & De la Garza-Requena, F. (2011). Lixiviación de hierro quelatado en suelos calcáreos. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 231-237.
- 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., Brito da-Silva, V., Almeida-López, A., Ferreira-Gomes, R., & 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), 1-7. <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n1a15>
- Cruz-Macias, W. O., Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. Á., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Chávez-Hernández, M. H., & 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-Dieguez, E., Larrinaga-Mayoral, J., ... 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., & Soria-Fregoso, M. (2008a). Predicción de la demanda nutricional 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., & Pereyda-Pérez, G. (2008b). 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., Catzín-Rojas, F. J., & Ortiz-Ceballos, Á. I. (2002). Descomposición del follaje de nescafé (*Mucuna* spp.) en la época seca. *Interciencia*, 27(11), 625-630.
- Cuanalo, H. E., & Uicab-Covoh, R. A. (2005). Investigación participativa en la milpa sin quema. *Terra Latinoamericana*, 23(4), 587-597.
- Espinosa-Graham, L., & 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., & Roosevelt, F. (2015). Manejo sustentable del suelo para la producción agrícola. (Eds.). Ciencia, Tecnología y desarrollo (pp. 63-79). Texcoco, Edo. de México, México: Colegio de Postgraduados
- Fernández-Labrada, M., Seoane-Labandeira, S., Illera-Vives, M., & López-Mosquera, M. E. (2019). Evaluación agronómica de abonos verdes de invierno en Galicia. In J. Llinares, I. Bautista, C. Lull, N. Pascual, A. Soriano, V. Castell, & A. Lidón (Eds.). Acta de Horticultura: 7ma jornada del grupo de fertilización (pp. 6-11). Valencia, España: SECH. ISBN: 9788409132171
- Gamarra-Lezcano, C. C., Díaz-Lezcano, M. I., Vera de Ortiz, M., Galeano, M. del P., & 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., & 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). Reporte de Investigación: Fertilizantes químicos y biofertilizantes en México (pp. 17-29). Ciudad de México, México: CEDRSSA.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2017). Agenda técnica agrícola Campeche (5a ed.). México: INIFAP.
- 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*) en condiciones agroecológicas de Cayhuayna. *Investigación Valdizana*, 10(3), 123-128.
- López, F. M., Duval, M., Martínez, J. M., Gabbarini, L., & 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., & 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., & 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., & 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.
- 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>
- Noval-Artiles, E., García Díaz, J. R., García-López, R., Quiñones-Ramos, R., & Mollineda-Tujillo, Á. (2014). Characterization of some chemical components, in the soil of different agroecosystems of cattle farms. *Centro de Investigaciones Agropecuaria*, 41(1), 25-31.
- Prieto-Méndez, J., González-Ramírez, C. A., Román-Gutiérrez, A. D., & 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) Palmira, Colombia: SCCSUELOS
- Rivera-Vázquez, R., Vargas-Pérez, E., Terrazas-Domínguez, S., & 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., & Ferreira, E. P. de B. (2016). Abonos verdes y su influencia en el crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), en condiciones agroecológicas. *Biotechnia*, 18(1), 59-64.

-
-
- Rojas-Molina, M., Zúñiga-Orozco, A., Peña-Cordero, W., & 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., & 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., & Mogollón, J. P. (2017). Identificación de potencialidades y limitaciones de suelos agrícolas del Estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 29(3), 207-218.