

Efecto de tres especies leguminosas sobre la fertilidad de un Luvisol de trópico subhúmedo

Effect of three legumes species on the fertility of a subhumid tropic Luvisol

Diana Alejandra Cobian-Núñez¹ ,
Patricia Irene Montañez-Escalante^{1*} ,
Luis Filipe da Conceição-Dos Santos² ,
Héctor Estrada-Medina¹ ,
Juan José Jiménez-Osornio¹ 

¹Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán. Carretera Mérida-Xmatkuil Km 15.5, CP. 97100. Mérida, Yucatán, México.

*Autor de correspondencia: montanez@correo.uady.mx

Nota científica

Recibida: 03 de diciembre de 2021

Aceptada: 25 de abril de 2022

Como citar: Cobian-Núñez DA, Montañez-Escalante PI, da Conceição-Dos Santos LF, Estrada-Medina H, Jiménez-Osornio JJ (2022) Efecto de tres especies leguminosas sobre la fertilidad de un Luvisol de trópico subhúmedo. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(2): e3218. DOI: 10.19136/era.a9n2.3218

RESUMEN. La agricultura convencional con el establecimiento de monocultivos y el uso indiscriminado de plaguicidas impacta de forma negativa la fertilidad del suelo. El cultivo de especies leguminosas es una alternativa para mejorar las condiciones del suelo y producir alimento. Por ello, se determinaron las propiedades físicas y químicas del suelo, antes y después del cultivo de *Phaseolus vulgaris*, *Vigna unguiculata* y *Vigna radiata*. Antes de iniciar el cultivo el productor evaluó la calidad del suelo mediante indicadores visuales cualitativos. Se establecieron tres tratamientos bajo un diseño de bloques completos al azar y por medio del análisis de varianza se compararon las propiedades fisicoquímicas, antes y después del cultivo. La calidad del suelo es moderada tanto por la evaluación visual como por el análisis químico. Se observaron efectos del tratamiento en la CIC y Ca, los cuales disminuyeron después de los cultivos. El policultivo de leguminosas contribuye a mejorar las condiciones del suelo.

Palabras clave: Agricultura sustentable, nutrientes, *Phaseolus vulgaris*, *Vigna radiata*, *Vigna unguiculata*.

ABSTRACT. Conventional agriculture with the establishment of monocultures and the indiscriminate use of pesticides negatively impacts soil fertility. Legume cultivation is an alternative to improve soil conditions and produce food. Therefore, the physical and chemical properties of the soil were determined before and after cultivation of *Phaseolus vulgaris*, *Vigna unguiculata* and *Vigna radiata*. Before starting the crop, the producer evaluated the quality of the soil using qualitative visual indicators. Three treatments were established under a randomized complete block design and with analysis of variance the physicochemical properties were compared before and after cultivation. The quality of the soil was moderate both by the visual evaluation and by the chemical analysis carried out. Treatment effects were observed in CIC and Ca values, which decreased after cultures. The polyculture of leguminous species contributes to improving soil conditions.

Key words: Sustainable agriculture, nutrient, *Phaseolus vulgaris*, *Vigna radiata*, *Vigna unguiculata*.

INTRODUCCIÓN

La milpa es un agroecosistema tradicional que provee alimentos básicos a las familias y promueve la seguridad alimentaria. En la actualidad el manejo de este sistema se ha modificado con la incorporación de fertilizantes y herbicidas, el productor tiene que invertir dinero en la compra de estos insumos, por lo que el sistema es menos rentable (Mascorro-de Loera *et al.* 2019, Rodríguez- Robayo *et al.* 2020). La aplicación de fertilizantes químicos en los cultivos resulta atractiva porque los productores observan un aumento en la producción a corto plazo (Rodríguez-Robayo *et al.* 2020). Pero no es una alternativa sostenible a largo plazo, ya que provoca el deterioro de la fertilidad del suelo e incrementa la demanda de insumos externos (Ebel *et al.* 2017). El uso de fertilizantes químicos en exceso causa efectos negativos en el balance de nutrientes del suelo, provoca la volatilización del Nitrógeno (N) y disminuye el almacenamiento de Carbono (C) como consecuencia de la acidificación del suelo, causado principalmente por la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Qiu *et al.* 2016, Hammad *et al.* 2020). De igual forma, la aplicación de fertilizantes con N y fósforo (P), a largo plazo puede disminuir el contenido de micronutrientes como el zinc, manganeso y cobre en la capa superficial del suelo (Zhang *et al.* 2015).

Como alternativa a los sistemas de producción convencional se han desarrollado propuestas que incluyen el manejo de leguminosas como mejoradoras de la fertilidad del suelo, debido a que contribuyen a la fijación de N atmosférico, aumentan la disponibilidad de N, P, el contenido de carbono orgánico y humus (Stagnari *et al.* 2017, Meena *et al.* 2018). Al respecto, se ha reportado que las leguminosas de grano pueden incrementar el rendimiento de cereales un 29% en promedio y fijan hasta 120 kg ha^{-1} de N al año (Hasanuzzaman *et al.* 2019). De igual forma, se ha reportado que la materia orgánica (MO) de las leguminosas puede aumentar hasta en un 3.1% el contenido de carbono orgánico, la disponibilidad de P, el potasio (K) intercambiable y el N total del suelo (Abera y Gerkabo 2021).

Además de mejorar la fertilidad del suelo,

especies como *Vigna unguiculata*, *Vigna radiata* y *Phaseolus vulgaris* proveen de granos comestibles con elevado valor nutricional que contribuyen a la alimentación familiar (Stagnari *et al.* 2017). El manejo de estas especies dentro de los policultivos como la milpa se ha realizado desde hace décadas, pero la agrobiodiversidad ha disminuido en los últimos años. El manejo de leguminosas mediante asociaciones y rotaciones de cultivos tiene beneficios socioecológicos y promueve sistemas de producción sostenibles a largo plazo (Hasanuzzaman *et al.* 2019, Rodríguez *et al.* 2020). Una estrategia de promoción es realizar investigación acción participativa para involucrar a los productores en los procesos de la investigación y así facilitar la revaloración y adopción de las propuestas. Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto del cultivo de tres especies de leguminosas comestibles sobre la fertilidad del suelo de un agroecosistema en el municipio de Tahdziú, Yucatán, una localidad representativa del trópico subhúmedo dominada por suelo Luvisol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El sitio de estudio se localiza en el municipio de Tahdziú en el sur de Yucatán, en las coordenadas $20^{\circ} 13' 52.8'' \text{ LN } 88^{\circ} 56' 39.6'' \text{ LO}$, a 23 msnm (Figura 1). En una zona kárstica en un área donde predominan las rocas relativamente solubles (evaporitas y calizas) (Estrada-Medina *et al.* 2019). El clima es AW_0 , cálido subhúmedo con lluvias en verano (INEGI 2009).

Diseño experimental

El experimento se estableció en una superficie plana de 289 m^2 con un sistema de riego por goteo. Fueron tres tratamientos representados por *Vigna unguiculata*, *Vigna radiata* y *Phaseolus vulgaris*, con tres repeticiones y bajo un diseño de bloques completos al azar. Cada tratamiento comprendió tres hileras de 5 m de largo, 0.3 m de ancho y 1.5 m de separación entre ellas (20 m^2). La siembra se realizó manualmente el 19 de agosto del 2020. Se colocaron dos semillas por golpe a 30 cm de distancia entre

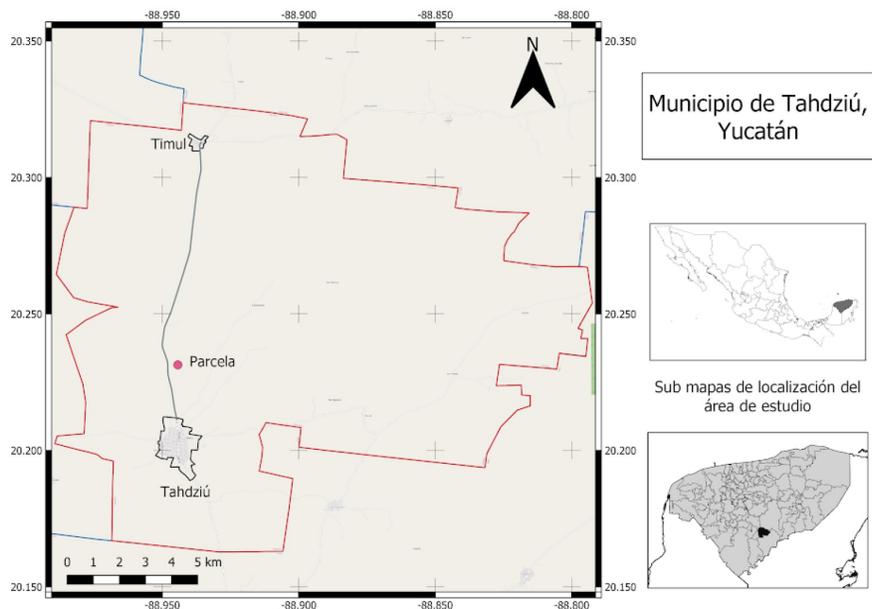


Figura 1. Ubicación geográfica de la parcela experimental en el municipio de Tahdziú, Yucatán.

plantas. En total, en cada unidad experimental se tuvieron 96 plantas y una densidad de 32 000 plantas ha^{-1} .

El control de malezas se realizó de forma manual una vez por semana. Para evitar la presencia de plagas de insectos se aplicó un bioinsecticida de Neem (*Azadirachta indica*) (5%) a los 7 y 14 dds (días después de la siembra) y un caldo sulfocálcico (0.5%) a los 30 dds para evitar la presencia de hongos. Ambos se aplicaron de forma foliar con un aspersor. Para preparar el bioinsecticida de Neem se maceraron 250 g de sus hojas en 1 L de agua caliente y se dejó reposar por 24 h, después el concentrado se diluyó al 5% para su aplicación. Para el caldo sulfocálcico se diluyeron 250 g de azufre y 125 g de cal en 1 L de agua hirviendo, al enfriarse se tomó 100 mL del concentrado y se diluyó en 20 L de agua para su aplicación (Restrepo 2007, Peña *et al.* 2013).

Evaluación visual del suelo (EVS)

Se realizó de forma participativa con un productor de la zona el 9 de septiembre del 2020 en un punto intermedio de la parcela siguiendo la guía para EVS propuesta por Shepherd *et al.* (2008). Se

le preguntó al productor acerca de los indicadores que toma en cuenta para determinar la calidad del suelo y el nivel de importancia que tiene cada uno. Los indicadores evaluados fueron: textura, estructura y consistencia, compactación, porosidad, costra superficial, cobertura vegetal, porosidad y presencia de lombrices. La EVS resultó de la suma de la calificación de todos los indicadores y se consideró pobre si la suma era menor a 11, moderada si era de 11 a 22 y buena si era mayor a 22 puntos. La importancia de cada indicador se analizó mediante un gráfico radial.

Toma de muestras de suelo y análisis de laboratorio

Dos días previo a la siembra se tomaron tres muestras compuestas de la parcela experimental para determinar las condiciones del suelo. Para tomar la muestra se eligieron cinco puntos, uno en cada vértice y en el centro de cada bloque. Se removió la hojarasca fresca, plantas y piedras de la superficie entre 1 a 3 cm de profundidad, en cada punto se tomó una submuestra de 100 a 200 g de suelo a una profundidad de 0 a 30 cm.

Posterior a la cosecha de los cultivos (113 dds) se tomó una muestra compuesta de suelo por cada tratamiento, las submuestras se tomaron en 5 puntos, una en cada vértice y en el centro de cada cuadrante sobre la línea de cultivo. Todas las muestras se secaron al sol durante un día y en una estufa a 70 °C por tres días. Las muestras se pasaron por un tamiz de 2 mm y se almacenaron en bolsas de papel y bolsas herméticas etiquetadas hasta su uso.

Los análisis se realizaron por triplicado en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua de la Universidad Autónoma de Yucatán. Donde se determinó la textura por medio del método de Bouyoucos (Gee y Bauder 1986), el pH en agua relación 1:2 por el método del potenciométrico (Thomas 1996), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de Acetato de Amonio pH7 (Summer y Miller 1996), la conductividad eléctrica relación 1:5 (CE) por el método del potenciómetro (Rhoades 1996), el sodio (Na) y potasio (K) por flamometría (Helmke y Sparks 1987), calcio (Ca) por flamometría (Suarez 1996), el nitrógeno (N) por el método de Kjeldahl (Bremner 1996), el fósforo (P) por el método de Olsen (Kuo 1996), el carbono (C) por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers 1987), la materia orgánica (MO) se calculó por medio de la relación: %MO = %C x 1.724 (Nelson y Sommers 1987), y la estabilidad de microagregados por el método semicuantitativo (Kemper y Rosenau 1986).

Análisis de datos

Para las propiedades químicas del suelo se realizó un ANOVA de una vía y una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) con el Software PAST 4.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación visual del suelo

De acuerdo con el productor, los indicadores más importantes para determinar la calidad del suelo son la compactación y la porosidad. De manera general el productor menciona que “es de buena calidad cuando está suave porque esto permite que crez-

can las raíces” y “hay que dejar descansar la tierra para que los cultivos se desarrollen bien”. En la EVS los indicadores costra superficial, profundidad, estructura y consistencia presentaron buena calidad, mientras que la porosidad y la compactación fueron moderadas. La textura se calificó como moderadamente pobre, con presencia de lombrices y pobre cobertura vegetal (Figura 2). El nivel de importancia que el productor le asignó a cada indicador es resultado de la experiencia y de los conocimientos que le han transmitido sus antepasados. Al respecto, Bautista y Zink (2010) mencionan que los productores mayas consideran la posición en el relieve, el color, la proporción de gravas, rocas, la profundidad, el drenaje, la textura y la estructura para clasificar el suelo. Aunque, la compactación y la porosidad no son mencionadas, estas características se encuentran relacionadas con la textura y la estructura del suelo.

El suelo tuvo poca presencia de materia orgánica (<30%) y nula presencia de lombrices por lo que los agregados fueron escasos y esto indica que hay riesgo de erosión (Osman 2013). Al respecto, se ha demostrado que la tasa de infiltración es influenciada por las lombrices de tierra, ya que sus madrigueras pueden reducir la erosión hasta un 50% (Blouin et al. 2013). El manejo intensivo de la parcela, la quema y el uso de herbicidas evita que la materia orgánica se mantenga, que se reincorporen parte de los nutrientes y que las lombrices permanezcan, lo que contribuye con la degradación de la fertilidad del suelo (Ramos-Oseguera et al. 2019).

Propiedades químicas del suelo

El suelo tiene textura arcillosa, con 53.9% de arcillas, 18.6% de limos y 27.42% de arenas. Mientras que la MO, C, N, K y micro-agregados estables no presentaron efectos entre tratamientos, pero sí se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a las variables de pH, CE, CIC, P, Ca y Na (Tabla 1). El pH fue significativamente menor en el tratamiento con *V. unguiculata* que con *P. vulgaris*. La conductividad eléctrica disminuyó con los tratamientos de *V. radiata* y *P. vulgaris*, mientras que en el tratamiento con *V. unguiculata* au-

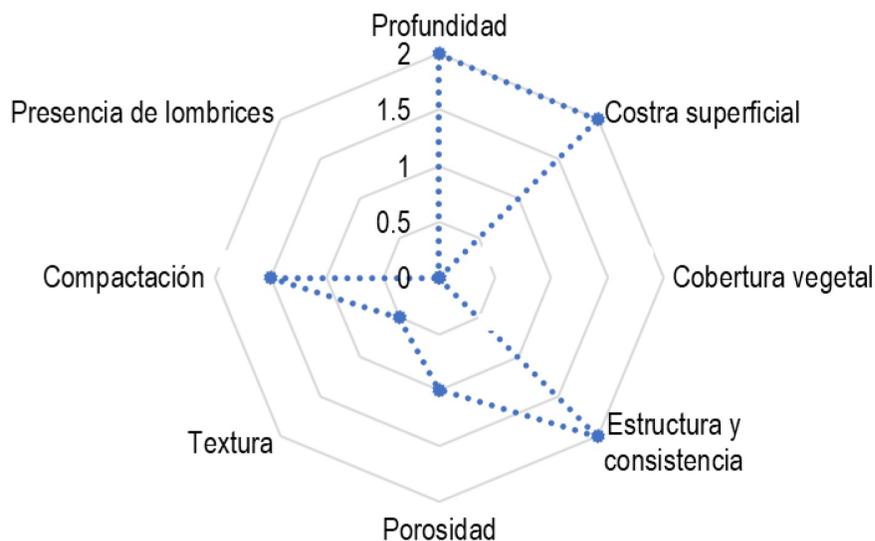


Figura 2. Indicadores visuales de la calidad del suelo de un agroecosistema localizado en Tahdziú, Yucatán.

Tabla 1. Medias (σ) de las propiedades químicas del suelo de un agroecosistema localizado en Tahdziú, Yucatán.

Tratamientos	pH	CE (dS/m)	MO (%)	CIC (cmol (+)/ kg)	Micro-agregados Estables (%)	C (%)	N total (%)	P (mg /kg)	K (cmol (+)/ kg)	Ca (cmol (+)/ kg)	Na (cmol (+)/ kg)
Presiembra	7.29 ^{ab} (0.16)	0.082 ^{ab} (0.008)	6.07 ^a (0.75)	9.88 ^a (0.26)	54.31 ^a (0.44)	3.53 ^a (0.43)	0.30 ^a (0.13)	2.77 ^b (2.25)	0.14 ^a (0.03)	6.73 ^a (0.09)	0.010 ^a (0.003)
<i>Vigna radiata</i>	7.19 ^{ab} (0.04)	0.070 ^b (0.004)	4.95 ^a (0.30)	8.43 ^b (0.37)	58.77 ^a (9.33)	2.97 ^a (0.01)	0.27 ^a (0.03)	1.15 ^b (0.17)	0.09 ^a (0.004)	4.88 ^c (0.14)	0.010 ^a (0)
<i>Vigna unguiculata</i>	6.92 ^b (0.04)	0.095 ^a (0.006)	5.20 ^a (0.17)	9.14 ^{ab} (0.38)	52.23 ^a (1.61)	3.02 ^a (0.09)	0.32 ^a (0.09)	10.56 ^a (0.28)	0.07 ^a (0.002)	5.05 ^c (0.08)	0.010 ^a (0.004)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	7.51 ^a (0.28)	0.067 ^b (0.004)	5.38 ^a (0.25)	8.43 ^b (0.24)	56.20 ^a (2.99)	3.02 ^a (0.31)	0.22 ^a (0.05)	0.53 ^b (0.14)	0.07 ^a (0.06)	5.80 ^b (0.36)	0.003 ^b (0.002)

Valores con letra diferente en la misma columna presentan diferencias significativas en la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Números entre paréntesis corresponden a la desviación estándar (σ).

mentó. La capacidad de intercambio catiónico disminuyó después de los tratamientos con *V. radiata* y *P. vulgaris*. El contenido de fósforo aumentó significativamente ($p < 0.05$) después del tratamiento con *V. unguiculata* y disminuyó después de los tratamientos con *V. radiata* y *P. vulgaris*. El contenido de calcio disminuyó después de los tratamientos con leguminosas y entre tratamientos fue mayor con *P. vulgaris* que con *V. radiata* y *V. unguiculata*. El contenido de sodio presentó diferencias entre tratamientos siendo el de *P. vulgaris* mayor que el de *V. radiata*. Sólo se observó efectos de tratamiento en los valores de CIC y Ca, los cuales disminuyeron después del cultivo con las leguminosas, esto sugiere que la fertilidad del suelo es baja. Al respecto, Estrada-Medina et al. (2013),

reportan valores de 36.5 a 25.5 cmol kg⁻¹ para los horizontes A1 y A2, respectivamente, para suelo tipo Luvisol.

La mayoría de los macronutrientes disminuyeron su concentración al término del ciclo de los cultivos, posiblemente resultado de la adsorción de nutrientes por las leguminosas. Al respecto, se han reportado efectos positivos en la condición del suelo a mediano y largo plazo con la incorporación de residuos de leguminosas como el aumento de la disponibilidad de N y P, así como el contenido de carbono orgánico y humus, entre otros (Stagnari et al. 2017, Meena et al. 2018, Abera y Gerkabo 2021). Lo anterior, debido a que las leguminosas fijan menos N cuando su disponibilidad es alta, ya

que tienen la capacidad de regular su fijación de N dependiendo de las condiciones del suelo (Menge et al. 2009, Hasanuzzaman et al. 2019). Esta habilidad pudo ser la causa de que no se observaran diferencias significativas en el contenido de N entre la pre-siembra y después del cultivo de leguminosas. El contenido de carbono encontrado es considerado como muy bajo de acuerdo con Delgado-Carranza et al. (2017) quienes sugieren que valores de 1 al 5% de C orgánico son muy bajos para zonas de Karst en Yucatán. El aumento del contenido de P en el suelo después del tratamiento con *Vigna unguiculata* coincide con Dahmardeh y colaboradores (2010) quienes obtuvieron un aumento en la disponibilidad de P después de cultivos intercalados de *Vigna unguiculata* y *Zea mays*.

La calidad del suelo fue moderada tanto por la evaluación visual como por el análisis químico realizado. La EVS es una herramienta que puede utilizarse para realizar evaluaciones rápidas sobre la calidad de los suelos, pero no sustituye a los análisis de laboratorio. Se observó disminución en el

contenido de la mayoría de los nutrientes después de los tratamientos, a excepción del tratamiento con *V. unguiculata* donde se registró un aumento en el contenido de P. Es recomendable considerar la incorporación de la biomasa de las leguminosas para conocer su efecto sobre la fertilidad del suelo al descomponerse.

AGRADECIMIENTOS

Al Sr. SUM por todo su apoyo durante la realización del proyecto. El primer autor agradece al proyecto Agencias de Desarrollo Humano Local (ADHL-Alianzas): una alternativa para la seguridad alimentaria y la soberanía en el sur de Yucatán financiado por la Fundación W.K. Kellogg. SISTPROY: CIRB-2020-0015. A MLD por el asesoramiento técnico para realizar los análisis químicos en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua de la Universidad Autónoma de Yucatán.

LITERATURA CITADA

- Abera G, Gerkabo H (2021) Effects of green manure legumes and their termination time on yield of maize and soil chemical properties. Archives of Agronomy and Soil Science 67: 397-409.
- Bautista F, Zinck JA (2010) Construction of a Yucatec Maya soil classification and comparison with the WRB framework. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 6: 1-11. DOI: 10.1186/1746-4269-6-7.
- Blouin M, Hodson ME, Delgado EA, Baker G, Brussaard L, Butt KR, Brun JJ (2013) A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. European Journal of Soil Science 64: 161-182.
- Bremner JM (1996) Nitrogen-total. In: Sparks DL (ed) Methods of soil analysis: Chemical methods. Agronomy monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI. pp: 1085-1121.
- Dahmardeh M, Ghanbari A, Syahsar BA, Ramrodi M (2010) The role of intercropping maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on yield and soil chemical properties. African Journal of Agricultural Research 5: 631-636.
- Delgado-Carranza C, Bautista-Zúñiga F, Calvo-Irabien LM, Aguilar-Duarte YG, Martínez-Tellez JG (2017) El carbono orgánico en Leptosols con distribución discontinua en la península de Yucatán. Ecosistemas y recursos agropecuarios 4: 31-38.
- 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.
- Estrada-Medina H, Bautista F, Jiménez-Osornio JJM, González-Iturbe JA, Aguilar Cordero WDJ (2013) Maya and WRB soil classification in Yucatan, Mexico: differences and similarities. International Scholarly Research Notices Article ID 634260. DOI: 10.1155/2013/634260.

- Estrada-Medina H, Jiménez-Osornio J, Álvarez-Rivera O, Barrientos Medina RC (2019) El karst de Yucatán: su origen, morfología y biología. *Acta Universitaria*. 29: 1-28. DOI: 10.15174/au.2019.2292.
- Gee GW, Bauder JW (1986) Particle-size analysis. In: Klute A (ed) *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods*. Agronomy monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI. pp: 363-375.
- Hammad HM, Khaliq A, Abbas F, Farhad W, Fahad S, Aslam M, Bakhat HF (2020) Comparative effects of organic and inorganic fertilizers on soil organic carbon and wheat productivity under arid region. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 51: 1406-1422.
- Hasanuzzaman M, Masud AAC, Bhuiyan TF, Anee TI (2019) Legumes for soil fertility management and sustainable agriculture. *SATSA Mukhapatra-Annual Technical Issue* 23: 29-46.
- Helmke PA, Sparks DL (1987) Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium, Cesium. In: Sparks DL (ed) *Methods of soil analysis. Chemical methods*. Agronomy monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. pp: 551-574.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009) *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Tahdziú, Yucatán*. INEGI. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/31/31073.pdf. Fecha de consulta: 15 de abril de 2021.
- Kemper WD, Rosenau RC (1986) Aggregate stability and size distribution. In: Klute A (ed) *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods*. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. pp: 425-442.
- Kuo S (1996) Phosphorous. In: Sparks DL (ed) *Methods of soil analysis. Chemical methods*. Agronomy monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI. pp: 869-920.
- Mascorro-de Loera RD, Ferguson BG, Perales-Rivera HR, Charbonnier F (2019) Herbicidas en la milpa: Estrategias de aplicación y su impacto sobre el consumo de arvenses. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6: 477-486.
- Meena BL, Fagodiya RK, Prajapat K, Dotaniya ML, Kaledhonkar MJ, Sharma PC, Kumar S (2018) Legume green manuring: An option for soil sustainability. *Legumes for soil health and sustainable management*. Springer. Singapore. pp: 387-408.
- Menge DNL, Levin SA, Hedin LO (2009) Estrategias de fijación de nitrógeno facultativas versus obligatorias y sus consecuencias en el ecosistema. *The American Naturalist* 174: 465-477.
- Nelson DW, Sommers LE (1987) Organic matter. In: Sparks DL (ed) *Methods of soil analysis. Chemical methods*. Agronomy Monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. pp: 961-1010.
- Osman KT (2013) *Soils: Principles, properties and management*. Springer Science and Business Media. Dordrecht, The Netherlands. 106p.
- Peña MJ, Castro JC, Soto A (2013) Evaluación de insecticidas no convencionales para el control de *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera:Aphididae) en frijol. *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación científica* 16: 131-138.
- Qiu S, Gao H, Zhu P, Hou Y, Zhao S, Rong X, Zhou W (2016) Changes in soil carbon and nitrogen pools in a Mollisol after long-term fallow or application of chemical fertilizers, straw or manures. *Soil and Tillage Research* 163: 255-265.

- Ramos-Oseguera CA, Castro-Ramírez AE, León-Martínez NS, Álvarez-Solís JD, Huerta-Lwanga E (2019) Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.). *Terra Latinoamericana* 37: 45-55.
- Restrepo RJ (2007) El ABC de la agricultura orgánica y harina de rocas. Manual práctico. Servicio de Información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible. Managua, Nicaragua. 262p.
- Rhoades JD (1996) Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks DL (ed) *Methods of soil analysis. Chemical methods. Agronomy monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI. pp: 417-436.*
- Rodriguez C, Carlsson G, Englund JE, Flöhr A, Pelzer E, Jeuffroy MH, Jensen ES (2020) Grain legume-cereal intercropping enhances the use of soil-derived and biologically fixed nitrogen in temperate agroecosystems. A meta-analysis. *European Journal of Agronomy* 118: 126077. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126077.
- Rodríguez-Robayo KJ, Méndez-López ME, Molina-Villegas A, Juárez L (2020) What do we talk about when we talk about milpa? A conceptual approach to the significance, topics of research and impact of the mayan milpa system. *Journal of Rural Studies* 77: 47-54.
- Shepherd G, Stagnari F, Pisante M, Benites J (2008) Visual soil assessment. Field guide. Annual crops. FAO. 92p.
- Stagnari F, Maggio A, Galieni A, Pisante M (2017) Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 4: 1-13. DOI: 10.1186/s40538-016-0085-1.
- Suarez DL (1996) Beryllium. Magnesium, Calcium, Strontium, and Barium. In: Sparks DL (ed) *Methods of soil analysis. Chemical methods. Agronomy Monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, WI, USA pp: 551-574.*
- Summer ME, Miller WP (1996) Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Sparks DL (ed) *Methods of soil analysis. Chemical methods. Agronomy Monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. pp: 551-574.*
- Thomas GW (1996) Soil pH and soil acidity. In: Sparks DL (ed) *Methods of soil analysis. Chemical methods. Agronomy Monograph. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 475-490.*
- Zhang S, Li Z, Yang X (2015) Effects of Long-Term Inorganic and Organic Fertilization on Soil Micronutrient Status. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 46: 1778-1790.