

# Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.)

## Vermicompost to recover the fertility of sandy loam soil and peanut (*Arachis hypogaea* L.) yield

Carla Anahí Ramos Oseguera<sup>1</sup>, Adriana Elena Castro Ramírez<sup>1‡</sup>, Noé Samuel León Martínez<sup>1</sup>, José David Álvarez Solís<sup>1</sup> y Esperanza Huerta Lwanga<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, Agroecología, El Colegio de La Frontera Sur. Carretera Panamericana y Periférico Sur S/N. Apartado Postal 63. 29200 San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

<sup>‡</sup> Autora responsable (castroadriana3@gmail.com).

<sup>2</sup> Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, Agroecología, El Colegio de La Frontera Sur. Av. Rancho polígono 2-A, Ciudad Industrial Lerma. 24500 Campeche, Campeche, México.

### RESUMEN

La producción de cacahuete es una fuente de ingresos económicos importante para Chiapas, ocupando el segundo lugar a nivel nacional como productor. Jiquipilas es uno de los municipios productores del estado, pero su rendimiento ha disminuido en los últimos cuatro años (de 2.4 a 1.45 Mg ha<sup>-1</sup>) debido al manejo intensivo del cultivo, propiciando el deterioro paulatino de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (pérdida de fertilidad) franco arenosos en que se cultiva. Así, el manejo de los suelos se ha convertido en una necesidad de subsistencia, por lo que el propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de la incorporación de lombricomposta en el mejoramiento de las propiedades del suelo y el rendimiento del cacahuete (*Arachis hypogaea* L.), bajo condiciones de campo en la comunidad de José María Pino Suárez, municipio de Jiquipilas. El estudio se realizó en un solo ciclo (2016) en una parcela tradicionalmente sembrada con cacahuete. La lombricomposta se elaboró con residuos agrícolas de la región (estiércol, rastrojo de maíz y cacahuete). Se experimentó con cuatro diferentes dosis de lombricomposta (300, 225, 150 y 75 g), las cuales se complementaron con manejo agroecológico (sin insumos químicos e incorporación del deshierbe manual entre surcos como cobertura muerta); como tratamientos control se consideraron

suelo con manejo intensivo (aplicación de fertilizantes, insecticidas, herbicidas sintéticos) y suelo con manejo agroecológico. La adición de lombricomposta al suelo tuvo efecto en las propiedades físicas (capacidad de campo, densidad real y en los espacios porosos); en cuanto a las propiedades químicas hubo resultados positivos en la disponibilidad de fósforo, potasio, hierro y manganeso, así como en el pH. También se obtuvieron mayores emisiones de CO<sub>2</sub> por la actividad microbiana. La emergencia de plantas y su floración se dieron en menor tiempo con lombricomposta. Aunque se mostró una clara tendencia en el rendimiento del cultivo con la adición de lombricomposta, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas.

**Palabras claves:** actividad microbiana, manejo agroecológico, materia orgánica, propiedades fisicoquímicas.

### SUMMARY

Peanut production is a significant source of income for Chiapas, which is the country's second largest producer. Jiquipilas is one of the producing municipalities of the state; however, its yield has decreased in the last four years (from 2.4 to 1.45 Mg ha<sup>-1</sup>) probably due to the intensive management, propitiating the gradual deterioration of the physical, chemical

#### Cita recomendada:

Ramos Oseguera, C. A., A. E. Castro Ramírez, N. S. León Martínez, J. D. Álvarez Solís y E. Huerta Lwanga. 2019. Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.). Terra Latinoamericana 37: 45-55.

DOI: <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.331>

Recibido: enero de 2018.

Aceptado: octubre de 2018.

Publicado en Terra Latinoamericana 37: 45-55.

and biological properties of the soil (loss of fertility). In sandy loam soils, we evaluated the changes in said properties after addition of vermicompost and how these, in turn, affected crop yield. The study was conducted in a single crop cycle (2016), in a plot traditionally planted with peanuts (*Arachis hypogaea* L.) in the ejido of Jose Maria Pino Suarez, Jiquipilas, Chiapas. The vermicompost was made with agricultural residues of the region (manure, corn and peanut waste). We experimented with four different doses of vermicompost (300, 225, 150, and 75 g), which were complemented with agroecological management (without chemical inputs and incorporation of manually pulled and cut weeds between rows as dead cover). Soil with intensive management (application of fertilizers, insecticides, synthetic herbicides) and soil with agroecological management were considered as controls. The addition of vermicompost to the soil had a positive effect on physical properties (field capacity, real density and porous spaces); in terms of chemical properties, there were positive results in the availability of phosphorus, potassium, iron and manganese, as well as in the pH. Higher CO<sub>2</sub> emissions were also obtained due to microbial activity. The emergence of plants and their flowering occurred in less time with vermicompost. Although there is a clear trend toward higher crop yield with the addition of vermicompost, there were no statistically significant differences.

**Index words:** *microbial activity, agro-ecological management, organic matter, physicochemical properties.*

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacahuate tiene gran importancia a nivel internacional y se utiliza en la industria alimenticia para hacer cremas, salsas, botanas, entre otras. El fruto es una excelente fuente de proteína y aceite para el consumo humano. Los tres principales países productores son China, India y Nigeria (FAOSTAT, 2015).

En México se produjeron 64 463.73 Mg año<sup>-1</sup> en el 2015; Chiapas ocupó el segundo lugar a nivel nacional con 13 432.73 Mg año<sup>-1</sup> y un rendimiento promedio de 1.85 Mg ha<sup>-1</sup>. Dentro de los principales municipios productores se encuentran Cintalapa, Villa Corzo y Jiquipilas; este último con 2676.70 Mg ha<sup>-1</sup> de

producción y rendimiento promedio de 1.45 Mg ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2015).

Se sabe que la intensificación del uso agrícola del suelo, el manejo inadecuado de laboreo, el uso excesivo de agroquímicos (Vega-Carreño y Febles-González, 2005), así como la pérdida de cobertura vegetal contribuyen al proceso de degradación del suelo y la disminución del rendimiento de las cosechas (Pirrera y Ferrara, 2017).

La materia orgánica tiene gran influencia en conservar el nivel de agregación, la aireación, la humedad y la resistencia de los suelos a la degradación; asimismo, contribuye a que haya un mejor desarrollo de la raíz de las plantas, a la capacidad de intercambio catiónico y aniónico, en la regulación de pH y en la estabilización de nutrientes (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2011).

Los abonos orgánicos son alternativas para mejorar la fertilidad del suelo en la producción de cultivos; un ejemplo es la lombricomposta, ya que contiene macro y micro nutrientes que son importantes para el crecimiento de las plantas (Morales Munguía *et al.*, 2009); además, ayuda a restablecer cadenas tróficas por medio de la biota edáfica que se desarrolla, bioestimula los procesos intrínsecos para reconstruir la funcionalidad del ecosistema suelo (Domínguez, 2004; Olivares-Campos *et al.*, 2012). La lombricomposta se considera una biotecnología, ya que a través de la lombriz de tierra y microorganismos los desechos orgánicos se transforman en abono (Martínez-Cerda, 1996).

En Jiquipilas, Chiapas, el uso excesivo de productos químicos de síntesis como fertilizantes (urea, sulfato de amonio, fosfato diamónico), insecticidas (Cipermetrina), herbicidas (Glifosato e Imazapic) y las prácticas como la extracción del rastrojo de cacahuate para la alimentación del ganado, ocasionan que los suelos franco-arenosos se degraden y, según los productores, ha provocado un declive en el rendimiento del cacahuate con la consecuente disminución de sus ingresos económicos. Por lo anterior, el mejoramiento de los suelos se ha convertido en una necesidad de subsistencia. En la presente investigación se evaluó el efecto de la incorporación de lombricomposta en el mejoramiento de la fertilidad del suelo y el rendimiento del cacahuate (*Arachis hypogaea*), bajo condiciones de campo en la comunidad de José María Pino Suárez, municipio de Jiquipilas, Chiapas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo bajo condiciones de temporal en el ciclo agrícola julio-noviembre de 2016, en una parcela de 3 ha de superficie dedicada al cultivo de cacahuate desde hace seis años (anteriormente se sembraron de manera intensiva, frijol por 8 años y maíz por 15 años), ubicada en el ejido José María Pino Suárez. Previo al establecimiento del experimento se realizó un muestreo del suelo de la parcela para saber la condición de sus características físicas, químicas y biológicas antes de la aplicación de la lombricomposta (Cuadro 1); para ello se tomaron cinco submuestras en forma de X para conformar una muestra compuesta, extrayendo monolitos de  $25 \times 25$  cm con una profundidad de 30 cm. Los mismos monolitos permitieron conocer la composición de macroinvertebrados, conforme el manual Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) Program (Anderson e Ingram, 1993). Los análisis físicos, químicos y biológicos se realizaron en el Laboratorio de Suelos de El Colegio de la Frontera Sur, unidad San Cristóbal.

La lombricomposta se elaboró de febrero a junio de 2016 (época de secas), para ello se utilizaron desechos agrícolas del lugar, estiércol de ganado vacuno (como fuente de nitrógeno), rastrojo de cacahuate y maíz (como fuente de carbono), con proporción estiércol-rastrojos de 1:1, más la incorporación de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). El producto final se analizó siguiendo las consideraciones de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002) (Cuadro 2). La respiración en el suelo (emisiones de  $\text{CO}_2$ ) se evaluó utilizando el método de inducción de sustrato modificado propuesto por Anderson y Domsch (1978), el cual consistió en colocar 15 ml de NaOH 0.05 N, más 15 ml de  $\text{BaCl}_2$  al 0.5 N, para determinar las emisiones de  $\text{CO}_2$  mediante la titulación con HCl 0.05 N en presencia de cuatro gotas de fenolftaleína.

El experimento se estableció en un área de  $196 \text{ m}^2$ , bajo un diseño de bloques completos al azar, debido a la heterogeneidad de la parcela y una pendiente de 15%; cada uno de los tratamientos tuvo 36 plantas de cacahuate, lo que arrojó un total de 216 en cada uno de los bloques. La siembra se realizó el 06 de julio de 2016

**Cuadro 1. Condiciones físicas, químicas y microbiológicas del suelo de la parcela antes del establecimiento del experimento con lombricomposta en la producción de cacahuate en Jiquipilas, Chiapas.**

**Table 1. Physical, chemical and microbiological conditions of the plot soil before establishing the experiment with vermicompost in the production of peanuts in Jiquipilas, Chiapas.**

| Físicas |                    |             |                | Químicas |                             |         |                     |       |                       | Biológica                  |
|---------|--------------------|-------------|----------------|----------|-----------------------------|---------|---------------------|-------|-----------------------|----------------------------|
| DR      | DA                 | Color       | Textura        | MO       | pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) | P Olsen | N inorgánico        | CC    | CIC                   | Emisiones de $\text{CO}_2$ |
| - - -   | $\text{g ml}^{-1}$ | - - -       |                | %        |                             | - - -   | $\text{mg kg}^{-1}$ | - - - | $\text{cmol kg}^{-1}$ | $\text{mg kg}^{-1}$        |
| 2.18    | 1.33               | Café oscuro | Franco-arenoso | 1.70     | 6.65                        | 17.70   | 15.68               | 19.60 | 16.37                 | 6.25                       |

DR = densidad real, DA = densidad aparente, MO = materia orgánica N = nitrógeno; CC = capacidad de campo, CIC = capacidad de intercambio catiónico, P = fósforo. DR = real density, DA = bulk density, MO = organic matter N = nitrogen; CC = field capacity, CIC = cationic exchange capacity, P = phosphorus.

**Cuadro 2. Características químicas y microbiológicas de la lombricomposta utilizada en los tratamientos del experimento realizado en la producción de cacahuate en Jiquipilas, Chiapas.**

**Table 2. Chemical and microbiological characteristics of the vermicompost used in the experimental treatments in peanut production in Jiquipilas, Chiapas.**

| P                   | MO    | Relación | N total | P total             | CIC                   | CE                 | DA                 | pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) | Emisiones de $\text{CO}_2$ |
|---------------------|-------|----------|---------|---------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|
| $\text{mg kg}^{-1}$ | %     | C/N      | %       | $\text{mg kg}^{-1}$ | $\text{cmol kg}^{-1}$ | $\text{dS m}^{-1}$ | $\text{g ml}^{-1}$ |                             | $\text{mg kg}^{-1}$        |
| 403.43              | 22.19 | 1:11     | 1.09    | 2893.7              | 41.06                 | 1.171              | 0.65               | 7.95                        | 9.13                       |

P = fósforo; MO = materia orgánica; N = Nitrógeno; CIC = capacidad de intercambio catiónico; CE = conductividad eléctrica; DA = densidad aparente. P = phosphorus; MO = organic matter; N = nitrogen; CIC = cationic exchange capacity; CE = electrical conductivity; DA = bulk density.

con semillas de la variedad GK7 (tipo semi-rastrera), a 25 cm de distancia entre plantas y 55 cm entre surcos (puntos de siembra). Se evaluaron seis tratamientos, con seis repeticiones cada uno, los cuales consistieron en diferentes dosis de lombricomposta (Cuadro 3), solo en el punto de siembra, con manejo agroecológico del suelo, es decir, sin aplicar ningún tipo de productos sintéticos y la maleza arrancada manualmente se dejó entre surcos como cobertura muerta, además se realizó el aporcado con el fin de proteger a la planta. Un tratamiento control consistió en plantas con manejo químico (fertilizantes: sulfato de amonio 300 kg ha<sup>-1</sup>, fosfato diamónico 150 kg ha<sup>-1</sup>; herbicidas: glifosato 1 l ha<sup>-1</sup>; insecticida: cipermetrina 250 ml ha<sup>-1</sup>), sin aplicación de lombricomposta; y otro con el manejo agroecológico sin adición de lombricomposta. Se realizaron observaciones, durante los diez primeros días, para registrar los tiempos de germinación y a los 32, 37 y 42 días después de la siembra para los de floración por tratamiento.

Unsegundomuestreodesuelosymacroinvertebrados se realizó el 20 de octubre para analizar las variables relacionadas con la fertilidad del suelo de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002). La cosecha se hizo un mes después, cuando se midió el rendimiento de cacahuate; por cada bloque se tomaron dos plantas útiles, considerando que fueran lo más homogéneas al resto de ellas, en total se obtuvieron 12 plantas por tratamiento.

Al término del experimento (125 días), los datos se sometieron a análisis de varianza multivariado y univariado (emisión de CO<sub>2</sub> y tiempo de floración). Para aquellas variables en donde se encontraron diferencias significativas se corrió la prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Los análisis canónicos

se realizaron omitiendo la variable limo, ya que al calcularse otras variables a partir de esta se generaban errores matemáticos en el programa. El análisis para los macroinvertebrados se hizo a partir del método RandomForest. Se utilizaron dos paquetes estadísticos, SPSS versión 15.0 para Windows y R Studio versión 3.3.2.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades Físicas

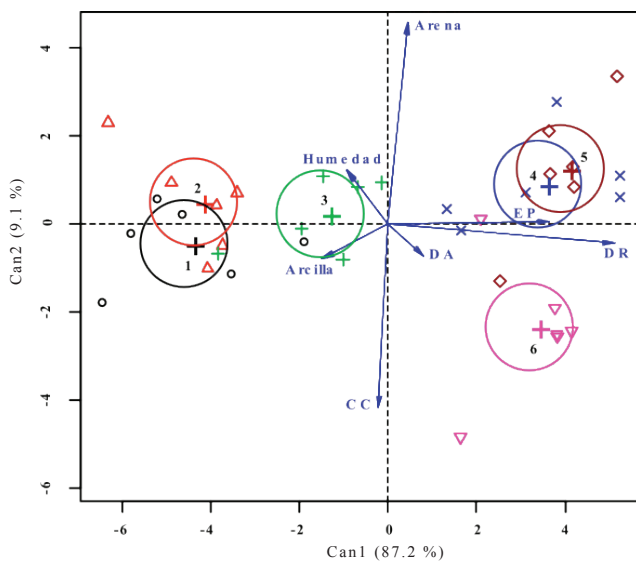
Entre los tratamientos se presentaron diferencias significativas para arena ( $F_{(5,5)} = 5.49$ ,  $P = 0.002^{**}$ ), limo ( $F_{(5,5)} = 4.27$ ,  $P = 0.01^{*}$ ), densidad real ( $F_{(5,5)} = 64.55$ ,  $P = 0.00^{**}$ ), espacios porosos ( $F_{(5,5)} = 9.88$ ,  $P = 0.00^{**}$ ) y capacidad de campo ( $F_{(5,5)} = 3.43$ ,  $P = 0.01^{*}$ ). La lombricomposta influyó en los espacios porosos al mostrar mejor respuesta el tratamiento (4) con 150 g y manejo agroecológico ( $P = 0.00^{**}$ ) respecto al tratamiento control; no se presentaron diferencias estadísticas para las variables arcilla ( $F_{(5,5)} = 1.634$ ,  $P = 0.188$ ), humedad ( $F_{(5,5)} = 0.89$ ,  $P = 0.51$ ) y densidad aparente ( $F_{(5,5)} = 1.82$ ,  $P = 0.15$ ). La presencia de arcilla es importante para la disponibilidad y permanencia de nutrientes en los suelos (Buckman y Brady, 1982; Fitzpatrick, 2011; Pirrera y Ferrara, 2017). En general, se tiene conocimiento que los suelos agrícolas en las regiones semiáridas están más expuestos a problemas de degradación y pérdida de fertilidad, en este sentido, las enmiendas del suelo de tipo biológico se presentan como una herramienta importante para mejorar sus propiedades, entre ellas las físicas (Mohawesh *et al.*, 2018).

**Cuadro 3. Especificaciones de cada uno de los tratamientos evaluados en el experimento con cultivo de cacahuate en Jiquipilas, Chiapas.**  
**Table 3. Specifications of each of the treatments evaluated in the peanut crop experiment in Jiquipilas, Chiapas.**

| Tratamientos |                                                                                             |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | Control: suelo con manejo químico (aplicación de fertilizantes, herbicidas e insecticidas). |
| 2            | Aplicación de 300 g de lombricomposta por punto, con manejo agroecológico.                  |
| 3            | Aplicación de 225 g de lombricomposta por punto, con manejo agroecológico.                  |
| 4            | Aplicación de 150 g de lombricomposta por punto, con manejo agroecológico.                  |
| 5            | Aplicación de 75 g de lombricomposta por punto, con manejo agroecológico.                   |
| 6            | Control: suelo con manejo agroecológico únicamente.                                         |

El análisis multivariado marcó alta significancia estadística ( $F = 2.6178$ ;  $GL = 35,115$ ;  $P = 6.596e-05$ ). Al dejar la maleza como abono, se desintegra y surge una serie de procesos que intervienen directamente en el suelo, aparte de que sirve como cobertura para él, protegiéndole de las altas temperaturas, reteniendo humedad y promoviendo la presencia de macro, meso y microfauna que influyen en su estructura (Huerta *et al.*, 2009; Álvarez-Solís *et al.*, 2010). Sin embargo, no se descarta un efecto de lixiviado de las partículas ocasionado por la pendiente del terreno, ya que según Buckman y Brady (1982) y Pirrera y Ferrara (2017) los cambios en la estructura del suelo no son inmediatos.

El análisis canónico (Figura 1) explica el 96.3% de la variabilidad de las variables. Claramente se observan cuatro diferentes grupos, los tratamientos



**Figura 1. Análisis canónico para las propiedades físicas del suelo y su relación con las diferentes dosis de lombricomposta.** DA = densidad aparente, DR = densidad real, EP = espacios porosos, CC = capacidad de campo; tratamientos 1 = suelo con manejo químico, 2 = suelo con 300 g de lombricomposta y manejo agroecológico, 3 = suelo con 225 g de lombricomposta y manejo agroecológico, 4 = suelo con 150 g de lombricomposta y manejo agroecológico, 5 = suelo con 75 g de lombricomposta y manejo agroecológico, 6 = suelo con manejo agroecológico.

**Figure 1. Canonical analysis of soil physical properties and their relation to the different doses of vermicompost.** DA = bulk density, DR = real density, EP = porous spaces, CC = field capacity; treatments 1 = soil with chemical management, 2 = soil with 300 g of vermicompost and agro-ecological management, 3 = soil with 225 g of vermicompost and agroecological management, 4 = soil with 150 g of vermicompost and agro-ecological management, 5 = soil with 75 g of vermicompost and agro-ecological management, 6 = soil with agroecological management.

4 y 5 (con 150 y 75 g de lombricomposta) presentan similitud, con mayor presencia de las variables de arena, espacios porosos y densidad real, en relación positiva. Las variables densidad aparente, capacidad de campo y densidad real se relacionan fuertemente con el tratamiento 6 (suelo con manejo agroecológico); mientras que humedad y arcilla están relacionadas con el tratamiento 3 (suelo con 225 g de lombricomposta). Los tratamientos 1 y 2 (tratamiento control químico y suelo con 300 g de lombricomposta) para las propiedades físicas no difieren estadísticamente.

### Propiedades Químicas

La lombricomposta influyó tanto en la disponibilidad del fósforo y el potasio presentando mayor cantidad en los cuatro tratamientos con dosis diferentes y manejo agroecológico, el pH fue neutro para estos mismos tratamientos (Cuadro 4). Las diferencias estadísticamente significativas se presentaron en la disponibilidad de fósforo ( $F_{(5,5)} = 3.31$ ,  $P = 0.02^*$ ), potasio ( $F_{(5,5)} = 3.53$ ,  $P = 0.01^*$ ), hierro ( $F_{(5,5)} = 6.31$ ,  $P = 0.00^{**}$ ) y manganeso ( $F_{(5,5)} = 3.264$ ,  $P = 0.02^*$ ).

Esto corrobora lo mencionado por Domínguez (2018) cuando señala que la adición de lombricomposta tiene una estrecha relación con la disponibilidad de nutrientes. Al tratarse de suelos franco arenosos, el porcentaje de pérdida de nutrientes por lixiviación aumenta por naturaleza y su capacidad productiva disminuye, afectando en gran medida el rendimiento del cultivo de cacahuete. Estudios previos indican que la aplicación de lombricomposta, además de agregar materia orgánica, también adiciona diferentes cantidades de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, indispensables para el desarrollo de las plantas; estos elementos, aunque normalmente se encuentran en el suelo en cantidades pequeñas, no están disponibles para las plantas (Buckman y Brady, 1982); de igual forma, la lombricomposta modifica el pH, la capacidad de intercambio catiónico y la conductividad eléctrica del suelo (Atiyeh *et al.*, 2000). Sin lugar a duda, la nutrición adecuada de los cultivos redundará en mayores rendimientos. En diversos cultivares de cacahuete se ha demostrado que la acidez de los suelos limita el desarrollo de las raíces de las plantas (Caires y Rosolem, 1991); por otra parte, suplementar hierro en suelos calcáreos evita la clorosis foliar de esta fabácea (Chen *et al.*, 2016), en la parcela experimental de Jiquipilas la diferencia significativa de este

**Cuadro 4. Promedios del pH y comparación de medias de macro y micronutrientes en los suelos con diferentes tratamientos de lombricomposta para el cultivo de cacahuete en Jiquipilas, Chiapas.**

**Table 4. Average pH and comparison of macro and micronutrient means in soils with different vermicompost treatments for peanut cultivation in Jiquipilas, Chiapas.**

| Tratamientos | N | Nitrógeno | Fósforo   | Potasio   | Hierro              | Manganeso | Zinc      | pH   |
|--------------|---|-----------|-----------|-----------|---------------------|-----------|-----------|------|
|              |   | %         | - - - - - | - - - - - | mg kg <sup>-1</sup> | - - - - - | - - - - - |      |
| 1            | 6 | 0.05 a    | 12.18 a   | 47.52 ab  | 33.71 a             | 12.27 b   | 0.35 a    | 5.92 |
| 2            | 6 | 0.05 a    | 23.54 ab  | 89.62 b   | 29.06 a             | 10.52 ab  | 0.43 a    | 6.04 |
| 3            | 6 | 0.05 a    | 26.56 b   | 76.35 ab  | 32.25 a             | 9.97 ab   | 0.46 a    | 6.00 |
| 4            | 6 | 0.06 a    | 25.67 ab  | 90.28 b   | 32.72 a             | 8.07 a    | 0.63 a    | 6.50 |
| 5            | 6 | 0.05 a    | 18.26 ab  | 62.18 ab  | 38.80 ab            | 9.88 ab   | 0.45 a    | 6.18 |
| 6            | 6 | 0.04 a    | 14.85 ab  | 42.90 a   | 45.45 b             | 10.48 ab  | 0.52 a    | 5.92 |

Por columna, valores con letras iguales no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ). Tratamientos: 1= control con manejo químico; 2 = 300 g de lombricomposta con manejo agroecológico; 3 = 225 g de lombricomposta con manejo agroecológico; 4 = 150 g de lombricomposta con manejo agroecológico; 5 = 75 g de lombricomposta con manejo agroecológico; 6 = control con manejo agroecológico.

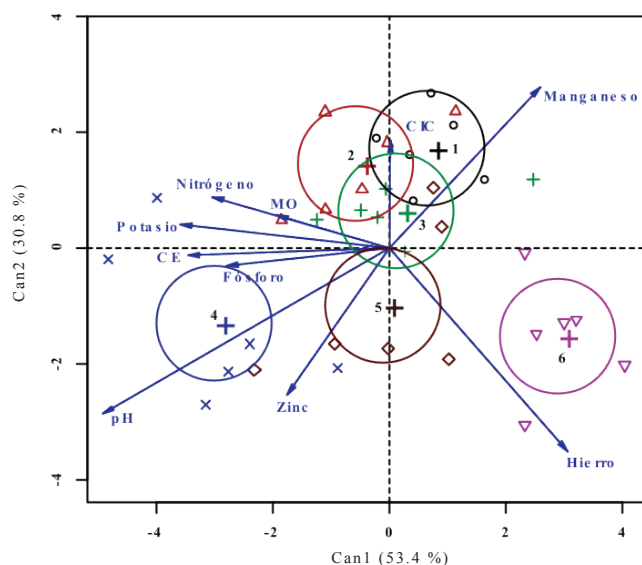
For column, values with equal letters do not differ statistically ( $P \leq 0.05$ ). Treatments: 1 = control with chemical handling; 2 = soil with 300 g of vermicompost and agro-ecological management; 3 = soil with 225 g of vermicompost and agroecological management; 4 = soil with 150 g of vermicompost and agroecological management; 5 = soil with 75 g of vermicompost and agroecological management; 6 = soil with agroecological management.

nutrimento se obtuvo por el tratamiento control con manejo agroecológico (Figura 2). En cuanto al fósforo, el cultivo de cacahuete demanda 40 kg ha<sup>-1</sup> (Barrera-Ocampo *et al.*, 2002) y la adición de lombricomposta favorece la disponibilidad de este macro nutrimento en el suelo. Un experimento desarrollado en varios suelos de Indonesia demostró que el biofertilizante influyó significativamente en la absorción del fósforo y crecimiento de cacahuete (Choirina *et al.*, 2013).

En relación con el nitrógeno y materia orgánica no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Estas dos propiedades químicas están relacionas fuertemente con la fertilidad de los suelos (Pirrera y Ferrara, 2017). El nitrógeno es uno de los principales elementos que participa en la nutrición de las plantas; la cantidad que se encontró en el suelo y los tratamientos es relativamente pequeña, si se toma en cuenta el requerimiento anual del cultivo de cacahuete (20 kg ha<sup>-1</sup>) (Buckman y Brady, 1982; Barrera-Ocampo *et al.*, 2002), por lo que sería recomendable incrementar la fuente de nitrógeno al elaborar la lombricomposta. La temperatura y la humedad determinan el tiempo de descomposición de la materia orgánica y la presencia de poblaciones de microorganismos en el suelo. Para Jiquipilas la temperatura media anual es mayor a los 35 °C y la precipitación anual es de 852 mm (CONAGUA, 2016); sin embargo, se considera que la deficiencia de nitrógeno en la parcela experimental se debe, principalmente, a la casi nula incorporación de materia orgánica al suelo.

El análisis multivariado reveló alta significancia estadística entre las variables ( $F = 1.8176$ ;  $GL = 50, 100$ ;  $P = 0.0058$ ). Esto se corrobora con el análisis canónico (Figura 2), donde el primer eje explica un alto porcentaje en la asociación de las variables químicas de los suelos con los tratamientos ( $P = 0.01^{**}$ ); sumando entre los dos ejes principales el 84.2% de la variabilidad y deja en evidencia la correlación de las variables, agrupando los tratamientos en cuatro. La variabilidad en el tratamiento 4 se debe a la mayor presencia de conductividad eléctrica, fósforo, pH y zinc. Los tratamientos 1, 2 y 3 (suelo con manejo químico, suelo con 300 g y 225 g de lombricomposta) son estadísticamente iguales, es evidente que los principales nutrimentos y la conductividad eléctrica están presentes en los tratamientos en donde se aplicaron las mayores dosis de lombricomposta.

Referente con la capacidad de intercambio catiónico se presentaron bajos niveles en los seis tratamientos, lo que posiblemente tiene relación con la poca materia orgánica y el bajo porcentaje de arcilla que los suelos franco arenosos presentan. Aun con la adición de lombricomposta no se logró mejorar esa condición ya que fue una única aplicación y los procesos de cambio en el suelo son lentos y requieren manejo constante (Pirrera y Ferrara, 2017). En este sentido, Singh *et al.* (2018) demuestran que el uso de biofertilizantes en dos ciclos agrícolas continuos mejora el contenido y absorción de los nutrimentos en garbanzo (*Cicer arietinum* L.).



**Figura 2. Diagrama de ordenación canónica de las variables químicas del suelo de la parcela con cacahuete en Jiquipilas, Chiapas.** Vectores: CIC = capacidad de intercambio catiónico, CE = conductividad eléctrica, MO = materia orgánica con los diferentes tratamientos (1 = suelo con manejo químico; 2 = suelo con 300 g de lombricomposta y manejo agroecológico; 3 = suelo con 225 g de lombricomposta y manejo agroecológico; 4 = suelo con 150 g de lombricomposta y manejo agroecológico; 5 = suelo con 75 g de lombricomposta y manejo agroecológico; 6 = suelo con manejo agroecológico).

**Figure 2. Canonic ordering diagram of chemical soil variables of the peanut plot in Jiquipilas, Chiapas.** Vectors: CIC = cation exchange capacity, CE = electrical conductivity, MO = organic matter with the different treatments (1 = soil with chemical management, 2 = soil with 300 g of vermicompost and agroecological management, 3 = soil with 225 g of vermicompost and agroecological management, 4 = soil with 150 g of vermicompost and agroecological management, 5 = soil with 75 g of vermicompost and agroecological management, 6 = soil with agroecological management).

Con la adición de lombricomposta se introducen microorganismos que se encargan de llevar a cabo los procesos químicos para hacer asimilables por las plantas los macroelementos que se encuentran en el suelo (Sridevi *et al.*, 2016). La fijación de estos compuestos también está en función del pH, por las formas iónicas en las que se encuentren (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2011). Su aprovechamiento se da mejor con pH de 5.5 a 6, entonces la lombricomposta influyó positivamente en el suelo; lo cual concuerda con lo señalado por Atiyeh *et al.* (2000), cuando evaluaron

los efectos de lombricompostas y compostas para el crecimiento de plantas y su contribución al suelo.

### Propiedades Biológicas

Los resultados en relación con la respiración en el suelo (emisiones de  $\text{CO}_2$ ) demuestran que hay diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $F_{(5,5)} = 7.54$ ,  $P = 0.00^{**}$ ). Las medias reportadas para los tratamientos de suelo con manejo químico ( $4.29 \text{ mg kg}^{-1}$ ), suelo con manejo agroecológico ( $2.06 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y suelo con 75 g de lombricomposta y manejo agroecológico ( $3.79 \text{ mg kg}^{-1}$ ) evidencian la baja actividad microbiana según Acosta *et al.* (2008); siendo mayor en los tratamientos 2, 3 y 4, con 300 g ( $7.24 \text{ mg kg}^{-1}$ ), 225 g ( $7.20 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y 150 g ( $6.52 \text{ mg kg}^{-1}$ ) de lombricomposta con manejo agroecológico. Este aumento de la actividad microbiana coincide con lo reportado por Mogollon-Sandoval (2014)<sup>1</sup>, quien evaluó diferentes dosis de lombricomposta para la biorremediación de suelos salinos, teniendo mejores resultados en el tratamiento con mayor porcentaje de lombricomposta. Maková *et al.* (2019) encontraron que el carbono emitido por la biomasa microbiana fue estadísticamente mayor al incorporar lombricomposta equivalente a 40 y 80  $\text{Mg ha}^{-1}$ .

Por otra parte, los resultados obtenidos en relación con la densidad de macroinvertebrados solo se encontraron individuos pertenecientes a cinco órdenes de artrópodos y uno de anélidos (Hymenoptera, Coleoptera, Lepidoptera, Blattodea (Isópteros), Haplotaixida), en mayores cantidades se encontraron las termitas (isópteros) y hormigas (Hymenoptera); el suelo con manejo agroecológico fue el que mayor fauna presentó, sin embargo no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos (Hymenoptera  $F_{(5,5)} = 1.32$ ,  $P = 0.29$ , Coleoptera  $F_{(5,5)} = 1.13$ ,  $P = 0.37$ , Lepidoptera  $F_{(5,5)} = 0.65$ ,  $P = 0.66$ , Haplotaixida  $F_{(5,5)} = 1$ ,  $P = 0.44$ , Blattodea  $F_{(5,5)} = 0.59$ ,  $P = 0.71$ ). El análisis de estas variables de propiedades biológicas por el método de Random Forest evidenció una estimación de error del 94.44%, lo cual sugiere que los tratamientos no muestran diferencias significativas. De acuerdo con lo reportado por Huerta-Lwanga *et al.* (2008), la diversidad de macroinvertebrados presentes en los suelos se relaciona directamente con su fertilidad,

<sup>1</sup> Mogollon-Sandoval, J. P. 2014. Efecto del uso del vermicompost para la biorremediación de suelos salino-sódicos del estado Falcón. Tesis de maestría. Universidad Yacambú, Venezuela.

ya que son el primer contacto para la desintegración de residuos orgánicos (desechos de plantas, raíces, animales muertos, entre otros); asimismo, la presencia de ciertos organismos puede dar un panorama del grado de alteración que sufre un suelo (Huerta *et al.*, 2009). Por otra parte, se ha señalado que en suelos fértiles se encuentran hasta 45 morfoespecies pertenecientes a 12 órdenes taxonómicos en las diferentes capas del suelo, con gran abundancia de lombrices (Huerta y van der Wal, 2012); por lo que, comparativamente el suelo de la parcela experimental con cacahuete mostró gran pobreza de macrofauna, ya que, además de lo señalado, entre todas las muestras solo se obtuvieron dos lombrices.

El papel ecológico de las hormigas, escarabajos y lombrices es importante como desintegradores de desechos orgánicos, son individuos que promueven la excavación de túneles, creación de galerías, entre otras, que contribuyen a la formación de la estructura de los suelos, así como en la retención de agua y transportación de nutrimentos (Cabrera y Crespo, 2001; Rojas-Fernández, 2003; Domínguez, 2004; Huerta *et al.*, 2011).

En ausencia de materia orgánica se ocasiona la pérdida paulatina de la fertilidad de los suelos y, por ende, del rendimiento productivo del cultivo. La práctica realizada en Jiquipilas de extraer los residuos de cosecha del cacahuete ha traído como consecuencia que el suelo quede desprotegido y sin aporte de materia orgánica, por lo tanto, no hay alimento para la fauna edáfica y se impide su presencia, permaneciendo únicamente aquellos organismos que tienen una adaptabilidad alta (como las hormigas, termitas y gallina ciega). Al respecto, Pascual-Córdova *et al.* (2018) al obtener escasa macrofauna en época de secas sugieren la degradación del suelo en caña de azúcar; cabe señalar que este cultivo tiene un manejo similar al del cacahuete, al extraer toda la biomasa de las parcelas, sin permitir que restos vegetales ayuden al reciclamiento de los nutrimentos, donde la micro, meso y macrofauna tienen relevante papel en las propiedades físicas y químicas del suelo. Sin embargo, con una sola aplicación de lombricomposta no se puede asegurar que las poblaciones de fauna permanezcan y se establezcan nuevamente las cadenas tróficas edáficas.

El estudio demuestra que en ausencia de materia orgánica se promueve que la escasa macrofauna, en los diferentes tratamientos, se alimente del cultivo

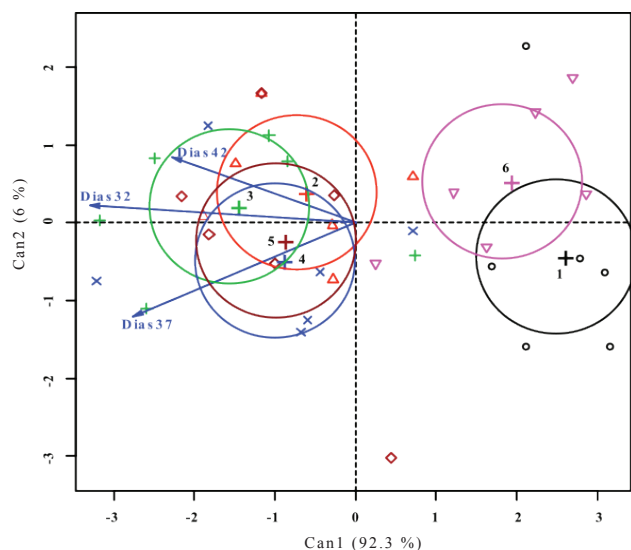
(herbívoros), ya que es la única fuente de alimentación, quedando importantes vacíos en las cadenas alimenticias al interior del suelo como ecosistema.

### **Desarrollo del Cacahuete (Germinación, Floración y Rendimiento)**

La emergencia de las plántulas inició cuatro días después de la siembra en los tratamientos con diferentes dosis de lombricomposta y un día después (5°) para aquellos en los cuales no se aplicó (suelo con manejo químico y suelo con manejo agroecológico). Para el número total de plantas emergidas se encontró diferencia estadística entre los tratamientos ( $F_{(5,5)} = 4.50$ ,  $P = 0.005^{**}$ ), siendo mayor en los que tuvieron abono orgánico. Experimentos implementados en Ocozocautla, Chiapas, demuestran que el periodo de emergencia es de seis a ocho días después de la siembra (Barrera-Ocampo *et al.*, 2002).

El efecto de la aplicación de la lombricomposta también se reflejó en el tiempo de floración de las plantas, el análisis multivariado mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos en los tres tiempos evaluados ( $F = 2.58$ ;  $GL = 15,75$ ;  $P = 0.0037$ ). Otros estudios revelan que el tiempo de floración del cacahuete inicia a los 35 días después de la siembra (Barrera-Ocampo *et al.*, 2002); así que con la adición de lombricomposta el tiempo de floración se acortó ligeramente (32 días) para los tratamientos 2-5 (300, 225, 150 y 75 g de lombricomposta y manejo agroecológico), además de que florecieron uniformemente. El análisis canónico (Figura 3) marca diferencias significativas para esta variable entre tratamientos ( $P = 0.003668$ ). El primer eje canónico explica el mayor porcentaje (92.3%) en la asociación de los tratamientos; nótese que en los control (1 y 6 en la figura, sin lombricomposta) siempre la floración requirió mayor número de días. Esto pudiera deberse a reguladores de crecimiento (compuestos húmicos y nutrimentos) presentes en la lombricomposta (Zucco *et al.*, 2015). La fenología del cultivo no solo depende de la variedad que se use, también un buen desarrollo se propicia por la intervención de muchos otros requerimientos, entre ellos la humedad y la temperatura.

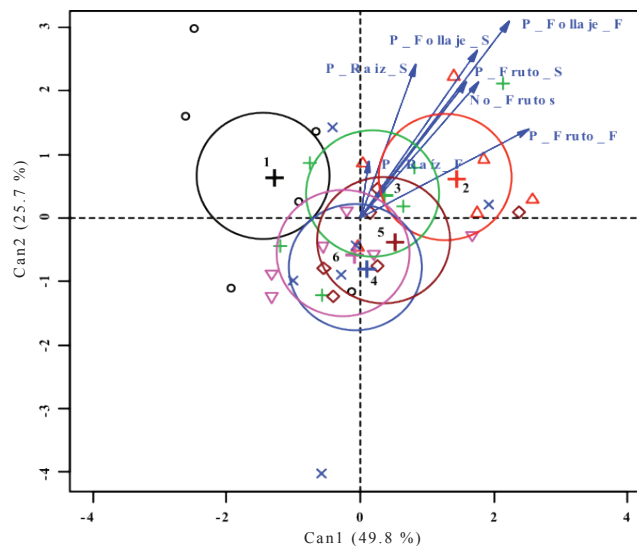
La variación en los parámetros de rendimiento evaluados (pesos fresco y seco de follaje, raíz, fruto y número de frutos) no mostraron separación clara entre tratamientos; follaje fresco ( $F_{(5,5)} = 1.80$ ,  $P = 0.15$ ),



**Figura 3. Análisis canónico de la floración de cacahuete, según los tratamientos con y sin lombricomposta, evaluada en tres momentos en Jiquipilas, Chiapas.** Tratamientos: 1 = suelo con manejo químico; 2 = suelo con 300 g de lombricomposta y manejo agroecológico; 3 = suelo con 225 g de lombricomposta y manejo agroecológico; 4 = suelo con 150 g de lombricomposta y manejo agroecológico; 5 = suelo con 75 g de lombricomposta y manejo agroecológico; 6 = suelo con manejo agroecológico. Vectores indican el número promedio de días después de la siembra en que se registró la floración por planta de cacahuete.

**Figure 3. Canonical analysis of peanut flowering by treatment, with and without vermicompost, evaluated at three times in Jiquipilas, Chiapas.** Treatments: 1 = Soil with chemical handling; 2 = soil with 300 g of vermicompost and agroecological management; 3 = soil with 225 g of vermicompost and agroecological management; 4 = soil with 150 g of vermicompost and agroecological management; 5 = soil with 75 g of vermicompost and agroecological management; 6 = soil with agroecological management. Vectors indicate the average number of days after sowing when flowering of each peanut plant was recorded.

follaje fresco ( $F_{(5,5)} = 1.10$ ,  $P = 0.38$ ), raíz fresca ( $F_{(5,5)} = 0.72$ ,  $P = 0.62$ ), raíz seca ( $F_{(5,5)} = 0.80$ ,  $P = 0.56$ ), frutos frescos ( $F_{(5,5)} = 1.20$ ,  $P = 0.34$ ), frutos secos ( $F_{(5,5)} = 0.71$ ,  $P = 0.62$ ), número de frutos ( $F_{(5,5)} = 0.85$ ,  $P = 0.53$ ). El análisis multivariado corrobora que no hay diferencias significativas para las variables de rendimiento del cultivo de cacahuete entre tratamientos ( $F = 1.0438$ ;  $GL = 35,115$ ;  $P = 0.418$ ), pero sí se muestra fuerte relación positiva de las siete variables con ligera tendencia para incrementar el rendimiento cuando se adiciona la lombricomposta (Figura 4). Es probable que de continuar con su aplicación los suelos estabilicen sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como su capacidad productiva. Se



**Figura 4. Diagrama de ordenación canónica de las variables relacionadas con el rendimiento del cacahuete, según los tratamientos con diferentes dosis de lombricomposta en Jiquipilas, Chiapas.** Tratamientos: 1 = suelo con manejo químico; 2 = suelo con 300 g de lombricomposta y manejo agroecológico; 3 = suelo con 225 g de lombricomposta y manejo agroecológico; 4 = suelo con 150 g de lombricomposta y manejo agroecológico; 5 = suelo con 75 g de lombricomposta y manejo agroecológico; 6 = suelo con manejo agroecológico.

**Figure 4. Diagram showing the canonical ordering of the peanut yield variables according to the different amounts of vermicompost in Jiquipilas, Chiapas.** Treatments: 1 = soil with chemical handling; 2 = soil with 300 g of vermicompost and agro-ecological management; 3 = soil with 225 g of vermicompost and agroecological management; 4 = soil with 150 g of vermicompost and agroecological management; 5 = soil with 75 g of vermicompost and agroecological management; 6 = soil with agroecological management.

sabe que la aplicación de lombricomposta, además de los efectos positivos en el desarrollo de los cultivos, incrementa su rendimiento (Mohawesh *et al.*, 2018). Además, diversos estudios (Agarkar *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2018) afirman que es hasta después de dos o tres años de uso de lombricomposta cuando se mejoran los rendimientos agrícolas.

Particularmente con la producción de cacahuete, Silawibawa *et al.* (2018) obtuvieron el mayor crecimiento y producción al usar estiércol de vaca y micorrizas además del biofertilizante; llegan a resultados similares Choirina *et al.* (2013) al añadir a la lombricomposta inóculo microbiano o, Sridevi *et al.* (2016), con lombricomposta de jacinto de agua (*Eichornia crassipes* [Mart.] Solms) y estiércol de vaca. Bouhraoua *et al.* (2015) concluyen que

se pueden obtener altos rendimientos de cacahuete minimizando sustancialmente la fertilización química al usar biofertilizantes en interacción con bacterias solubilizadoras de fosfato, hongos micorrízicos arbusculares nativos y rizobios.

## CONCLUSIONES

- La adición de 225 g de lombricomposta al punto de siembra de cacahuete en suelo franco arenoso de Jiquipilas, Chiapas, mejora algunas propiedades físicas y químicas que favorecen tendencias positivas para incrementar su rendimiento. Es posible que el uso continuo de lombricomposta ayude también a mejorar las características biológicas del suelo, de tal suerte que el establecimiento de cadenas tróficas en los diferentes niveles de fauna (micro, meso y macro) gestione el reciclamiento de nutrimentos, mejorando la fertilidad del suelo y con ello se aumenten los rendimientos del cacahuete.

- El suelo con uso intensivo constante en la producción de cacahuete se ha llevado a niveles críticos de degradación de su fertilidad, sobre todo por el manejo agrícola inadecuado al extraer toda la materia orgánica producida. Se tiene la posibilidad de remediarlo mediante el cambio de manejo o con la constante aplicación de lombricomposta que permita el óptimo funcionamiento del suelo como ecosistema con el incremento paulatino del rendimiento de cacahuete.

## AGRADECIMIENTOS

Al dueño de la parcela experimental en Jiquipilas, Chis. Al programa de becas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el recurso económico brindado durante los dos años de la maestría. A El Colegio de La Frontera Sur (ECOSUR) por aceptar a la primera autora en el programa de maestría y financiar la realización de la investigación.

## LITERATURA CITADA

- Acosta, Y., J. Paolini, S. Flores, M. El Zauahre, N. Reyes y H. García, 2008. Fraccionamiento de metales y materia orgánica en un suelo de la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias* 8: 39-47.
- Agarkar, S. S., R. K. Taywade, and A. K. Maldhure. 2011. Use of vermicompost for sustainable agriculture. pp: 78-84. *In: Proceedings of UGC Sponsored National Level Conference on "Environmental Biology and Biodiversity"*. Amravati, India.
- Álvarez-Solís, J. D., E. Díaz-Pérez, N. S. León-Martínez y J. Guillén-Velásquez. 2010. Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Lationamericana* 28: 239-245.
- Anderson, J. P. E. and K. H. Domsch. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10: 215-221.
- Anderson, J. M. and J. S. I. Ingram. 1993. *Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods*. CAB International. UK. ISBN: 0851988210.
- Atiyeh, R. M., S. Subler, C. A. Edwards, G. Bachman, J. D. Metzger, and W. Shuster. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia* 44: 579-590.
- Barrera-Ocampo, A., V. Díaz-Balderas y L. Hernández-Aragón. 2002. Producción del cultivo de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) en el estado de Morelos. México: SAGARPA. p. 35.
- Bouhraoua, D., S. Aarab, A. Laglaoui, M. Bakkali, and A. Arakrak. 2015. Phosphate solubilizing bacteria efficiency on mycorrhization and growth of peanut in the Northwest of Morocco. *Am. J. Microbiol. Res.* 3: 176-180.
- Buckman, H. O. y N. C. Brady. 1982. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. UTEHA. México, D. F.
- Cabrera, G. and G. Crespo. 2001. Influence of the edaphic biota on soil fertility in grassland ecosystems. *Cuban J. Agric. Sci.* 35: 3-8.
- Caires, E. F. and C. A. Rosolem. 1991. Root growth of peanut cultivars and soil acidity. pp. 239-243. *In: R. J. Wright, V. C. Baligar, and R. P. Murrmann (eds.). Plant-soil interactions at low pH. Developments in Plant and Soil Sciences vol 45.* Springer. Dordrecht.
- Chen, H., Z. Hu, X. Li, F. Zhang, J. Chen, and M. Zhang. 2016. Iron fertilizers applied to calcareous soil on the growth of peanut in a pot experiment. *Arch. Agron. Soil Sci.* 62: 1753-1764. doi: 10.1080/03650340.2016.1173674.
- Choirina, Y., S. Sudadi, and H. Widijanto. 2013. Effect of bio-natural fertilizer on phosphorus uptake and growth of peanut in alfisols, entisols, and vertisols. *Jurnal Ilmu Tanah dan Agroklimatologi* 10: 113-121. doi: 10.15608/st-jssa.v10i2.193.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016. DATClima Cintalapa Jiquipilas. Chiapas, México.
- Domínguez, J. 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. pp. 402-421. *In: C. A. Edwards (ed.). Earthworm Ecology*. CRC Press. Spain.
- Domínguez, J. 2018. Earthworms and vermicomposting. pp: 63-77. *In: S. Ray (ed.). Earthworms the ecological engineers of soil*. IntechOpen. London, UK.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2015. Agriculture total. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GT> (Consulta: junio 23, 2017).
- Fitzpatrick, E. A. 2011. *Introducción a la ciencia de los suelos*. Trillas. México, D. F.
- Gutiérrez-Miceli, F. A., M. A. Oliva Llaven, P. Mendoza Nazar, B. Ruiz Sesma, J. D. Álvarez-Solís, and L. Dendooven. 2011. Optimization of vermicompost and worm-bed leachate for the organic cultivation of radish. *J. Plant Nutr.* 34: 1642-1653.
- Huerta, E. and H. Van der Wal. 2012. Soil macroinvertebrates' abundance and diversity in home gardens in Tabasco, Mexico, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. *Eur. J. Soil Biol.* 50: 68-75.

- Huerta, E., G. Brown, y F. Bautista. 2011. Macroinvertebrados del suelo y lombrices de tierra. pp. 449-499. *In*: F. Bautista-Zúñiga, J. L. Palacio-Prieto y H. Delfin-González (eds.). Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. ISBN: 9786070221279.
- Huerta, E., C. Kampichler, V. Geissen, S. Ochoa-Gaona, B. de Jong, and S. Hernández-Daumás. 2009. Towards an ecological index for tropical soil quality based on soil macrofauna. *Pesq. Agropec. Bras.* 44: 1056-1062.
- Huerta-Lwanga, E., J. Rodríguez-Olán, I. Evia-Castillo, E. Montejomeneses, M. Cruz-Mondragón y R. García-Hernández. 2008. Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana*, 26: 171-181.
- Maková, J., S. Javoreková, J. Elbl, J. Medo, N. Hricáková, and P. Kováčik. 2018. Impact of vermicompost on biological indicators of the quality of soil under maize in a greenhouse experiment. *J. Elementol.* 24: 319-330.
- Martínez-Cerdas, C. 1996. Potencial de la lombricultura. *In*: A. Carballo-Quirós y S. Bravo-González (eds.), *Lombricultura técnica mexicana*. Texcoco, Edo. de México, México. ISBN: 9709169203.
- Mohawesh, O., T. Coolong, M. Aliedeh, and S. Qaraleh. 2018. Greenhouse evaluation of biochar to enhance soil properties and plant growth performance under arid environment. *Bulg. J. Agric. Sci.* 24: 1012-1019.
- Morales Munguía, J. C., M. V. Fernández-Ramírez, A. Montiel-Cota y B. C. Peralta-Beltrán. 2009. Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *Biocencia* 11: 19-26.
- Olivares-Campos, M. A., A. Hernández-Rodríguez, C. Vences-Contresa, J. L. Jáquez-Balderrama y D. Ojeda-Barrios. 2012. *Univ. Cienc. Tróp. Húm.* 28: 27-37.
- Pascual-Córdova, G., O. Obrador, E. Carrillo, E. García López, S. Soto, A. Guerrero, and C. F. Ortiz. 2018. Soil quality indicators in the agroecosystem of sugarcane (*Saccharum* spp.). *Rev. Fac. Agron.* 35: 1-25.
- Pirrera, G. and M. L. Ferrara. 2017. Applications of woosworms and materials for prevention the desertification risk and technosoils. p. 31. *In*: International Symposium on Soil and Water Bioengineering in a Changing Climate. Glasgow, Scotland, UK.
- Singh, R., D. Singh, T. Pratap, A. K. Singh, H. Singh, and S. Dubey. 2018. Effect of different levels of phosphorus, sulphur and biofertilizers inoculation on nutrient content and uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Int. J. Chem. Stud.* 6: 2574-2579.
- Rojas-Fernández, P. 2003. El papel de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en la dinámica edáfica. pp. 197-216. *In*: J. Álvarez-Sánchez and E. Naranjo-García (eds.). *Ecología del Suelo en la Selva Tropical Húmeda de México*. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México.
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D. F.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Anuario estadístico de la producción agrícola. Available at: [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp). (Consulta: diciembre 17, 2018).
- Silawibawa, I. P., R. Sutriano, D. Dwiani, and N. Wayan. 2018. A study on production and growth of peanut with application of manure, va mycorrhizal and bio-extrim bio fertilizer on Kediri Distric. *Crop Agro.* 11:137-144.
- Sridevi, S., M. Prabu, and N. G. Tamilselvi. 2016. Bioconversion of water hyacinth into enriched vermicompost and its effect on growth and yield of peanut. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 5: 675-681.
- Vega-Carreño, M. B. y J. M. Febles-González. 2005. La investigación de suelos erosionados: Métodos e índices de diagnóstico. *Min. Geol.* 21: 1-18.
- Zucco, M. A., S. A. Walters, S-K Chong, B. P. Klubek, and J. G. Masabni. 2015. Effect of soil type and vermicompost applications on tomato growth. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 4: 135-141.