

Macrofauna edáfica y calidad del suelo en agroecosistemas agrícolas y pecuarios de Campeche

Eric Yanuario Castillo-Trejo¹
Carolina Flota-Bañuelos^{2§}
Julia Alcudia-Pérez²
Silvia Fraire-Cordero²
Verónica Rosales-Martínez²
Víctor Hugo Quej-Chí²

¹Instituto Tecnológico Superior de Hopelchén. Carretera Federal Campeche-Hopelchén km 83, Hopelchén, Campeche, México. CP. 24600. (erick_ct24@hotmail.com). ²CONACYT-Colegio de Postgraduados-Campus Campeche. Carretera Haltunchén-Ezdná km 17.5, Sihochac, Champotón, Campeche, México. (frairec@colpos.mx; vrosales@colpos.mx).

§Autor para correspondencia: cflota@colpos.mx.

Resumen

Los cultivos en el estado de Campeche se están intensificando, esto ocasiona transformaciones en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo. El objetivo fue determinar el efecto de los agroecosistemas sobre la macrofauna edáfica y las propiedades del suelo. Se tomaron 10 puntos de muestreo por agroecosistema, con tres repeticiones cada. Los sitios se escogieron de acuerdo con el uso agropecuarios (pastizal, monte, agrícola intensivo y tradicional) y tiempo de uso (≥ 8 años). Se tomó 1 kg de cada muestra a 20 cm de profundidad, colocadas posteriormente en bolsas de polietileno. Se determinó pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo disponible, nitrógeno total y macrofauna edáfica. Con los datos de cada variable se realizó un análisis de varianza y para determinar las diferencias entre usos de suelo y sitios, se efectuó una prueba de medias según el estadístico de Tukey ($p \leq 0.05$), mediante el software Statistica versión 7.1. El agroecosistema Pastizal de Palizada presentó las mejores características en los suelos, con pH de 7.29, P, MO, N de 1.31 mg kg⁻¹, 5.05% y 0.31%, respectivamente y fauna edáfica con 66 individuos. El agroecosistema con menor calidad en el suelo fue cultivos intensivos de Hopelchén, con pH moderadamente ácidos (6.44), mayor cantidad de P (33.42 mg kg⁻¹), menor MO (2.59%) y contenidos elevados de N (0.23%) y sin macrofauna edáfica. El manejo del suelo en los agroecosistemas agrícolas no favorece la presencia de macrofauna edáfica ni mantiene los nutrientes necesarios para el buen funcionamiento y calidad de suelo.

Palabras clave: calidad del suelo, macroinvertebrados, sistemas de producción.

Recibido: enero de 2023

Aceptado: marzo de 2023

Introducción

Los agroecosistemas (AES) son sistemas ecológicos modificados antropogénicamente que emplean recursos naturales para la producción agropecuaria (Martínez-Castro *et al.*, 2015), de los cuales el suelo es el principal componente, debido a que brinda la posibilidad de mantener la productividad biológica y la calidad del ambiente, puesto que promueve la sanidad en cultivos, animales y el humano (FAO, 2015). Sin embargo, la productividad y funcionamiento de los AES se ven afectados por los continuos cambios de uso de suelo, gestión inadecuada de la tierra, uso indiscriminado de insumos agrícolas y de maquinaria agrícola pesada, que ocasionan pérdida de calidad del suelo (Cuadras-Berrelleza *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2022), aumento de salinidad (Mukhopadhyay *et al.*, 2021), disminución de fauna edáfica por la ingesta de microplásticos en sistemas agrícolas (Zhang *et al.*, 2022) y compactación del suelo que impacta directamente en el rendimiento de los cultivos debido al aumento de lixiviación de nutrientes (Parvin *et al.*, 2022).

En Campeche, México, de los 5.79 millones de hectáreas de suelo que posee, 54.7% es vegetación secundaria (monte), 15.9% selva (repartida entre selva alta, mediana, baja y selva fragmentada), ésta última afectada por actividades agropecuarias (SEMARNATCAM, 2009), a través de la tala y quema, que se han convertido en tierras para cultivos tradicionales e intensivos (Porter-Bolland *et al.*, 2007; Bautista-Cruz *et al.*, 2012) y para pastizales en actividades pecuarias. Dentro de los municipios con mayores tasas de deforestación se encuentran, Calakmul pasando de 0.3% a 0.7% al 2005 y Hopolchén con 45 706 ha perdidas hasta 2015 (Ellis *et al.*, 2017), esto indica que la conversión forestal se está intensificando.

Aunado a lo anterior, se ha reportado que la mayor parte de la superficie del estado de Campeche presenta suelos muy pedregosos con limitada profundidad y de origen calcáreo (Leptosoles), no apropiados para uso agrícola intensivo (Palma-López *et al.*, 2017). A pesar de esta situación, existen municipios como: Hopolchén, Escárcega, Candelaria y Palizada que destinan superficies para cultivos agrícolas de 91 109, 26 857.9, 23 360.5 y 10 848.3 ha, respectivamente, y en ganadería 1 537 435 ha para pastizales en el estado de Campeche (SIAP, 2017), donde se registraron disminuciones en las cosechas en los últimos años.

Las actividades agrícolas y pecuarias en suelos inapropiados, provocan transformaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas (Torres-Torres y Rojas-Martínez, 2019), que repercuten en la calidad del suelo, principalmente en sus nutrientes y funcionamiento (Meza *et al.*, 2017; Villanueva-López *et al.*, 2019), tales como la degradación, compactación y erosión de los pastizales debido al sobrepastoreo (FAO, 2015), la interferencia en la composición y estructura de la comunidad bacteriana de la rizosfera (Qi *et al.*, 2020), contaminación del suelo y acuífero (Lorenzo-Flores *et al.*, 2017) y modificación del hábitat de microorganismos y macroinvertebrados (Giller *et al.*, 1997). Ocasionado por el uso indiscriminado de plaguicidas organofosforados como el glifosato (Rendón-von Osten y Dzul-Caamal, 2017), diazinón, dimetoato, metil paratión, sulfotep y el uso de acolchados degradables y biodegradables (Qi *et al.*, 2020).

Para evaluar los cambios de las propiedades del suelo afectadas por las actividades antrópicas y por consiguiente, proponer estrategias de conservación acordes al uso de suelo y características físico-químicas, se analizan variables físicas, químicas, biológicas y sus relaciones, participación en la producción y estabilidad de los agroecosistemas (García *et al.*, 2012). Dentro de los indicadores, se encuentran, uso del suelo, mineralización de nitrógeno, carbono de la biomasa

microbiana, relación C/N microbiana, la abundancia de lombrices de tierra (Krüger *et al.*, 2018), la fauna del suelo (Sofo *et al.*, 2020), pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico total y orgánico en partículas, nitrógeno total, conductividad hidráulica, textura y materia orgánica (Baridón y Casas, 2014). Por lo tanto, el objetivo fue determinar la macrofauna edáfica y calidad del suelo en agroecosistemas agrícolas y pecuarios de Campeche.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El trabajo se efectuó durante los meses comprendidos de julio a noviembre de 2020 en los municipios de Candelaria, Palizada, Escárcega y Hopolchén del estado de Campeche, México. Candelaria se ubica en 17°49' 00" y 18° 30' 39" latitud norte y 90° 14' 00" y 91° 19' 42" longitud oeste. Comprende una extensión territorial de 5 574.8 km², a 46 msnm, clima cálido húmedo y cálido subhúmedo tropical lluvioso, la temperatura media anual de 26 °C, la precipitación pluvial media anual es de 1 700 mm (INEGI, 2009). Palizada se ubica a 17° 56' y 18° 36' latitud norte y 91° 39' y 92° 14' longitud oeste, con una extensión de 2 071.7 km², a 2 msnm, con clima húmedo con temperatura media anual de 27 °C y precipitación promedio anual de 1 750 mm (INEGI 2009).

Escárcega se encuentra en 18° 10' y 19° 01' latitud norte y 90° 03' y 91° 02' longitud oeste, a 60 msnm, con clima cálido subhúmedo, temperatura media anual de 27 °C y precipitación pluvial media anual de 1 065 mm (INEGI 2009). Hopolchén se ubica a 17° 48' y 20° 11' latitud norte y 89° 06' y 90° 09' longitud oeste, la superficie es de 7 956.7 km², clima cálido, a 89 msnm, con temperatura medio anual de 26 °C y precipitación pluvial media anual de 105 mm (INEGI 2009).

Selección y toma de muestras del suelo

Se diferenciaron tres tipos de agroecosistemas representativos del estado de Campeche, de acuerdo con los usos agropecuarios y tiempo de uso (≥ 8 años). Se seleccionaron de manera sistemática el uso ganadero extensivo (pastizal), uso agrícola intensivo (maíz y sorgo), uso agrícola tradicional (Jamaica y sorgo) y vegetación secundaria como control (monte) (Figura 1).



Figura 1. A) pastizal; B) cultivo intensivo; C) cultivo tradicional; y D) monte.

En cada AES se establecieron tres puntos de muestreo (repeticiones) con una separación de 500 m. Se colocó un cuadrante de 25 x 25 cm, para llevar a cabo la toma de muestras de suelo a una profundidad de 20 cm. Cada una de estas con un peso aproximado de 1 kg. Luego, fueron colocadas en bolsas de plástico y rotuladas con el nombre AES y repetición. Posteriormente, se transportaron al laboratorio de agua y suelos del Colegio de Postgraduados, *Campus Campeche* (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de muestras totales por agroecosistema en los municipios de Candelaria, Palizada, Escárcega y Hopelchén.

Agroecosistema	Núm. de sitios	Repeticiones	Muestras totales
Pastizal	10	3	30
Agrícola intensivo	10	3	30
Agrícola tradicional	10	3	30
Monte	10	3	30

Procesamiento y análisis de muestras de suelo

Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente, se molieron con un martillo de madera y tamizaron con una malla de acero inoxidable con abertura de 2 mm de diámetro. La determinación de textura (% limo, % arcilla y % arena) se realizó mediante la metodología de Bouyoucos. Para medir el pH se tomaron las lecturas con un multi-paramétrico PCSTestr35 marca Oaklon previamente calibrado con un búffer de pH 10, 7, 4.

La conductividad eléctrica (CE) se midió con un multiparamétrico PCSTestr35 marca Oaklon previamente calibrado. Para la obtención de la materia orgánica (MO), se siguió la metodología de Walkley y Black. El fósforo disponible (P) se cuantificó mediante el método propuesto por Olsen (1980) y el nitrógeno total (N) se evaluó con la metodología micro Kjeldahl. Las determinaciones fisicoquímicas se llevaron a cabo con las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

Conteo e identificación de macrofauna edáfica

Para realizar la recolecta de macrofauna edáfica se utilizó el método del monolito, propuesto por el Instituto de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales (TSBF); La macrofauna recolectada se depositó en frascos con alcohol al 70% para su conservación y posterior identificación (Decaëns *et al.*, 1994) a nivel orden.

Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de los agroecosistemas (pastizal, cultivo tradicional, intensivo y monte) sobre las variables dependientes (pH, CE, P, MO, N, textura y abundancia de fauna edáfica), se utilizó un análisis de varianza completamente al azar con un modelo lineal, y para determinar las diferencias entre usos de suelo y sitios, se realizó una prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) con el software Statistica versión 7.1

Resultados y discusión

Análisis fisicoquímico del suelo

Al comparar los parámetros fisicoquímicos del suelo por agroecosistema, se observó que la CE fue mayor en el cultivo tradicional con 0.25 dS m^{-1} ($p \leq 0.05$) y menor en el cultivo intensivo con 0.1 dS m^{-1} , ambos se mantuvieron en no salinos (NOM-021-RECNAT-2000). En este sentido, la FAO

(2017), menciona que a medida que disminuye la conductividad eléctrica (≤ 1), las plantas se estresan, afectando la producción de biomasa; este fenómeno se ha observado en cultivos de *Origanum vulgare* ssp. *hirtum*, donde el tratamiento con solución nutritiva al 25% y CE menor a 1 dS m⁻¹, tuvieron menor producciones de materia fresca y seca total (Juárez-Rosete *et al.*, 2019).

El pH de los suelos del monte, cultivo tradicional y el pastizal son medianamente alcalinos ($p \leq 0.05$), mientras que los suelos del cultivo intensivo son moderadamente ácidos (NOM-021-RECNAT-2000) (Cuadro 2). En suelos agrícolas de Jalisco, el 61.1 y 38.9% de la superficie agrícola muestreada tuvieron pH fuertemente ácido y moderadamente ácido, respectivamente, debido a que la actividad agrícola es intensiva y los insumos químicos que aplican provocan acidez (Ibarra-Castillo *et al.*, 2009). El contenido de fósforo mostró diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$), según la clasificación de Olsen (1980), el suelo del pastizal y monte son bajos con < 12 , mientras que los cultivos tradicional e intensivo presentaron valores medio y óptimo con rangos dentro de 12-24 y 24-36, respectivamente (NOM-021-RECNAT-2000).

El nitrógeno se encontró en cantidades muy bajas para el monte y pastizal con menos de 0.02%, para el cultivo tradicional fue medio con 0.13% y alto para el cultivo intensivo con 0.23% (NOM-021-RECNAT-2000) (Cuadro 2), esto se debe a la aplicación de fertilizantes a base NPK sintético a los cultivos (Medina *et al.*, 2018). Sin embargo, el uso excesivo de estos fertilizantes (Montejo-Martínez *et al.*, 2018), provenientes de los agroecosistemas agrícolas y ganaderos provoca contaminación al acuífero, llegando hasta ríos, como el Usumacinta (Ferat *et al.*, 2020).

Con relación a la materia orgánica, los mayores contenidos se encontraron en el cultivo tradicional, seguido de monte y pastizal con 9.66, 7 y 6.19% respectivamente y el menor se observó para los cultivos intensivos con 2.59% (NOM-021-RECNAT-2000) (Cuadro 2), lo cual indica claramente que son sistemas que tienden a estabilizar el contenido de MO en el suelo al aportar residuos de hojarasca (Palma-López *et al.*, 2015). El manejo tradicional y los sistemas con diferentes estrato o inclusión de leguminosas aumentan la cantidad MO y fertilidad (Arteaga *et al.*, 2016).

Cuadro 2. Composición fisicoquímica del suelo de agroecosistemas de Campeche.

Variables	Pastizal	Cultivo intensivo	Cultivo tradicional	Monte
PH	7.63 a	6.44 b	7.71 a	7.42 ab
CE (dS m ⁻¹)	0.21 ab	0.1 b	0.25 a	0.21 ab
P (mg kg ⁻¹)	2.49 b	33.42 a	19.39 ab	3.1 b
MO (%)	6.19 b	2.59 c	9.66 a	7 ab
N (%)	0.01 a	0.23 a	0.13 a	0.02 a
Arcilla (%)	58.92 a	63.32 a	54.32 a	61.04 a
Limo (%)	23 a	16 a	15.36 a	13.53 a
Arena (%)	18.08 a	20.68 a	30.32 a	25.42 a

a, b, c= literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas $p \leq 0.05$.

A diferencia de los cultivos intensivos, que, al igual que el manejo convencional de monocultivo *Solanum tuberosum* L. y pradera de *Pennisetum clandestinum* presentan menores porcentajes de MO, N total y bases intercambiables (Arteaga *et al.*, 2016), debido a la remoción de vegetación

nativa y el uso del arado para el establecimiento de cultivos, disminuye la capacidad de infiltración, cantidad de materia orgánica y nutrientes del suelo (Sosa-Quintero y Godínez-Álvarez, 2019). Por lo tanto, suelen ser deficientes en más de un micronutriente, derivando en baja concentración en los tejidos de los vegetales, que no les permite un crecimiento óptimo (Noval-Artiles *et al.*, 2014).

Las variables fisicoquímicas por municipio muestran que Hopelchén es la única zona que se encuentra con suelos moderadamente ácidos con pH= 6.48, con menor CE (0.16 dS m⁻¹), fósforo disponible en rango medio con 20.55 mg kg⁻¹, menor porcentaje de materia orgánica (0.06%) y mayor contenido de nitrógeno total (1.51%) (Cuadro 3). Cabe destacar que las muestras de los cultivos intensivos, donde se practica la agricultura mecanizada (Ellis *et al.*, 2017), usan semillas mejoradas genéticamente y productos químicos para la producción de maíz, soya y sorgo, con la finalidad de obtener eficiencia productiva (Vargas y García, 2018).

Cuadro 3. Composición fisicoquímica del suelo de cuatro municipios de Campeche.

Características	Candelaria	Palizada	Escárcega	Hopelchén
PH	7.68 a	7.29 ab	7.33 ab	6.48 b
CE (dS m ⁻¹)	0.19 a	0.25 a	0.23 a	0.16 a
P (mg kg ⁻¹)	1.93 b	1.31 b	4.95 ab	20.55 a
MO (%)	7.12 a	5.05 b	8.23 a	4.06 c
N (%)	0.46 b	0.31 b	0.54 b	1.51 a
Arcilla (%)	57.44 b	61.57 ab	72.42 a	57.43 b
Limo (%)	20.09 ab	28.9 a	10.42 b	15.63 b
Arena (%)	26.93 a	9.52 b	17.14 ab	22.47 ab

a, b, c= literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas $p \leq 0.05$.

Macroinvertebrados del suelo

Se registró un total de 123 individuos, pertenecientes a cinco órdenes; Haplotaxida, Scolopendromorpha, Coleóptera, Dermáptera e Hymenoptera. El orden haplotaxida (lombriz) fue el más abundante ($p \leq 0.05$), seguida de los órdenes; Scolopendromorpha, Coleóptera, Dermáptera e Hymenoptera, con 54, 36, 24, 6 y 3 individuos respectivamente (Figura 2A). La macrofauna edáfica, presenta alteraciones en su composición y biodiversidad, esto depende de la perturbación del suelo ocasionada por su modificación, considerando a estas especies como bioindicadores de la alteración ambiental (Cabrera, 2012). Asimismo, Mesa-Pérez (*et al.* 2016) mencionan que el muestreo de diplópodos, coleópteros, himenópteros y lombriz de tierra, son suficientes para determinar el estado de salud del suelo.

La riqueza encontrada en los suelos fue mayor en los pastizales que registraron cinco órdenes ($p \leq 0.05$), seguida de monte con tres órdenes (Haplotaxida, Scolopendromorpha y Dermáptera), cultivo tradicional con un orden (Coleóptera) y ausencia de estos organismos en los cultivos intensivos (Figura 2B). La presencia de lombriz de tierra (Haplotaxida) como índice de la conservación de los suelos, indica que los menos perturbados son los suelos del monte y del pastizal. Los órdenes de artrópodos son similares a los encontrados por Rosa y Negrete-Yankelevich, (2012) donde la presencia de himenópteros y coleópteros fue de 38 y 16.4% en cañaverales y en vegetación secundaria de 22.7 y 23.5%, respectivamente.

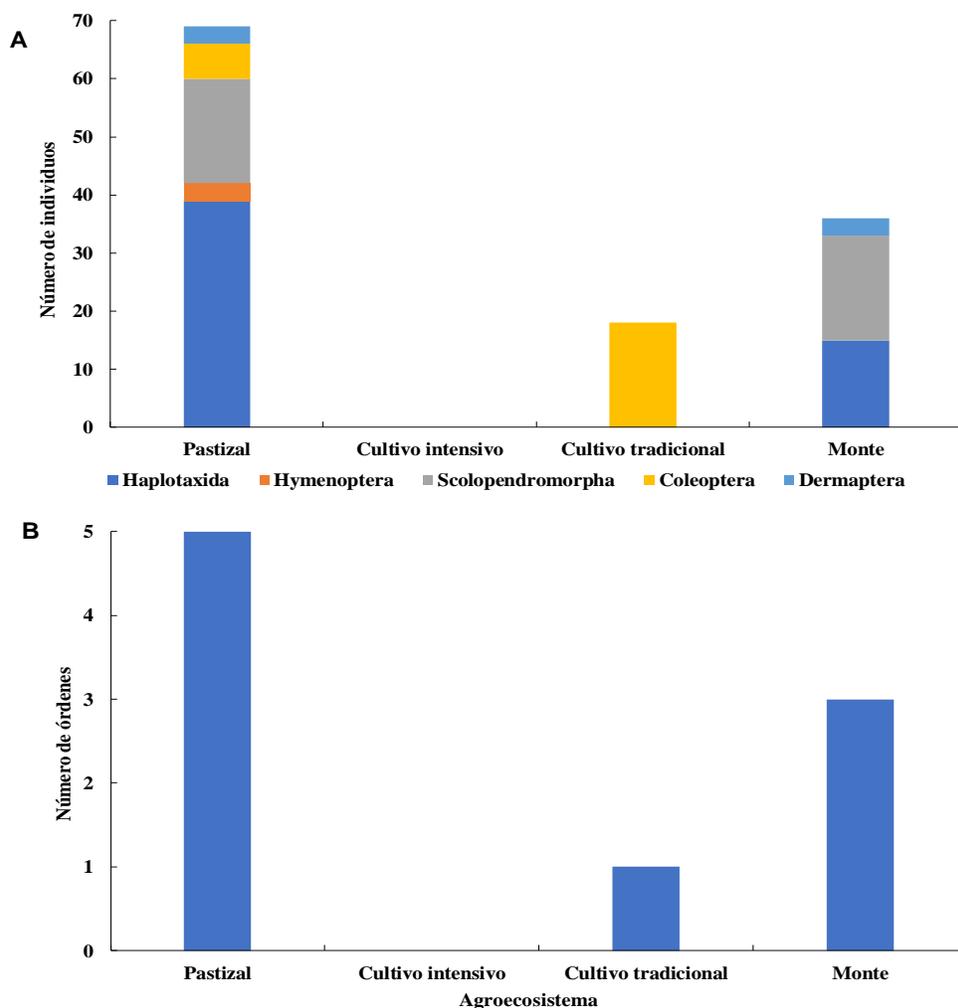


Figura 2. A) número de individuos; y B) órdenes de macrofauna edáfica en cuatro agroecosistemas de Campeche.

Al igual que Chi *et al.* (2020) quienes registraron 38% de himenópteros en los campos de caña de azúcar, 16.4% de Coleóptera, 11.7% de Blattodea, 9.7% de Chilopoda y 8.8% de Araneae y en el bosque secundario, los coleópteros mostraron una mayor abundancia con 23.5%, los himenópteros obtuvieron un 22.7%, Isóptera 12.1%, Gasterópoda 9.1% y Aranea 6.8%.

En el municipio de Palizada, se registró la mayor cantidad de lombrices con 39 individuos ($p \leq 0.05$), seguido de Candelaria, Escárcega y Hopelchén con 12, 3 y 0 individuos respectivamente (Figura 3^a). Esto indica que los pastizales extensivos de esos sitios están menos perturbados, explicando la relevancia que tiene el agroecosistema de pastizal del municipio de Palizada, ya que promueve el hábitat adecuado, como cobertura vegetal que aporta de biomasa aérea y radical de las plantas. La mayor riqueza se registró en el municipio de Palizada con cuatro órdenes (haplotoxida, scolopendromorpha, coleóptera y dermáptera), seguido de Candelaria con tres órdenes (scolopendromorpha, haplotoxida e himenoptera), Escárcega con dos órdenes (haplotoxida y dermáptera) y Hopelchén con la presencia de un orden (coleóptera) perteneciente al cultivo tradicional (Figura 3B).

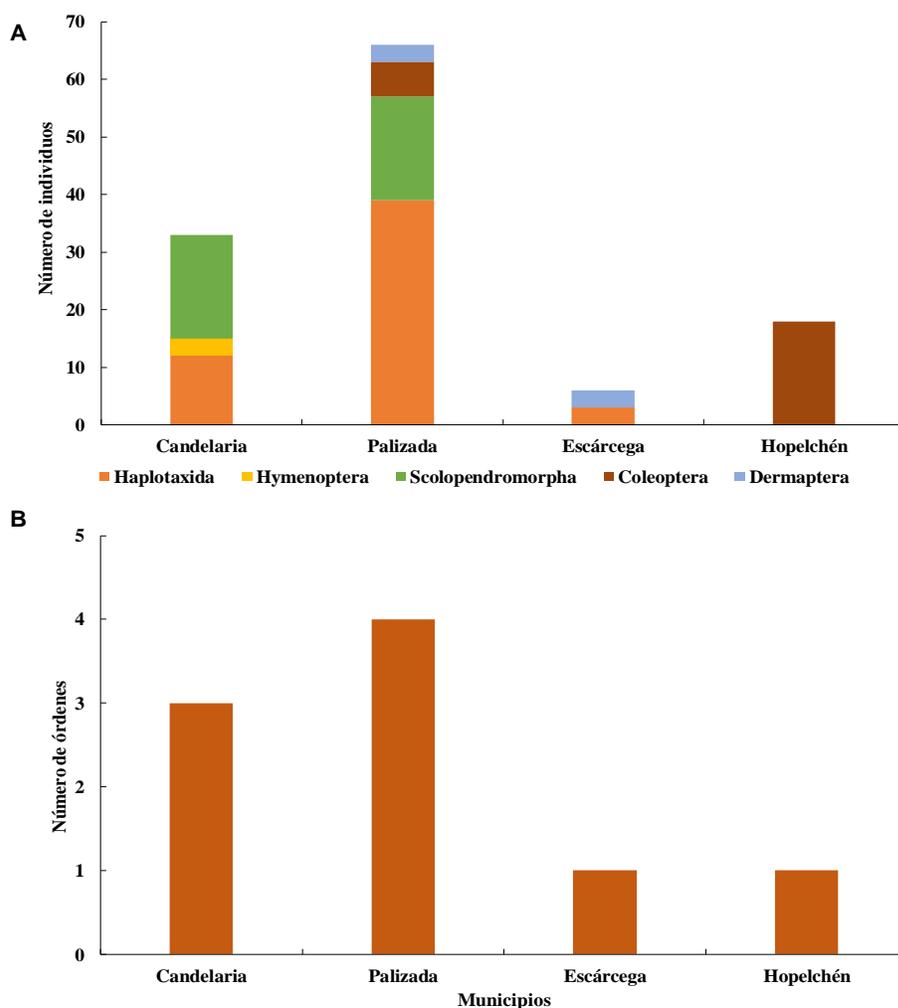


Figura 3. A) abundancia; y B) riqueza de macrofauna edáfica por municipio del estado de Campeche.

En los cultivos intensivos de Hopelchén, que presentaron menor cobertura forestal y prácticas de alta intensidad, no se registró fauna edáfica. Esto se debe, a que algunos grupos taxonómicos son más sensibles a los cambios, cuando existe conversión de un área de vegetación natural para actividades agropecuarias (Rosa y Negrete-Yankelevich, 2012). Esta disminución de fauna edáfica para sistemas agrícolas con manejo intensivo se ha observado en cultivos de soya de Hopelchén, Campeche, sobre la disminución de abejas (Vides-Borrell *et al.*, 2019), en caña de azúcar en Veracruz, con menor abundancia de colémbolos y hormigas en comparación con sistemas con manejo tradicional (Cabrera-Mireles *et al.*, 2019) y en monocultivos de limón persa (*Citrus latifolia*), se encontró impacto negativo sobre la fauna edáfica, en comparación con policultivos de limón persa, plátano (*Musa spp.*) y cacao (*Theobroma cacao*) (Murillo-Cuevas *et al.*, 2020).

Conclusiones

El agroecosistema pastizal extensivo del municipio de Palizada, presenta las mejores características en los suelos, con pH de 7.29, niveles de fósforo, materia orgánica y nitrógeno de 1.31 mg kg^{-1} , 5.05% y 0.31%, respectivamente, que inciden en la calidad del suelo y favorecen

la presencia de macrofauna edáfica, en específico de los órdenes Haplotaxida (lombriz de tierra), Scolopendromorpha (Milpiés), Coleóptera (gallina ciega) y dermáptera (tijerillas). El agroecosistema de los suelos con menor calidad fue de cultivos intensivos del municipio de Hopelchén, con suelos moderadamente ácidos (6.44), mayor cantidad de fósforo 33.42 mg kg⁻¹, menor cantidad de materia orgánica (2.59%) y contenidos elevados de nitrógeno (0.23%), que afectan a las poblaciones de macrofauna edáfica benéfica, al no recolectar ningún individuo.

Por lo tanto, en los sistemas de cultivos agrícolas intensivo, se recomienda disminuir el uso de plaguicidas, rastreo con maquinaria y quema de residuos vegetales. Así como incorporar residuos de cosechas y sembrar algunas especies vegetales fijadoras de nitrógeno, para favorecer la presencia de macrofauna edáfica y reconvertir los suelos.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico Superior de Hopelchén y Colegio de Postgraduados *Campus Campeche*, por las facilidades otorgadas para la realización del trabajo de campo y laboratorio. Al proyecto Cátedras CONACYT 2181 ‘Estrategias agroecológicas para la seguridad alimentaria en zonas rurales de Campeche’.

Literatura citada

- Arteaga, J. C.; Navia, J. F. and Castillo, J. A. 2016. Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamentos de Nariño. Colombia. Rev. Cienc. Agríc. 33(2):62-75. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.53>.
- Baridón, J. E. and Casas, R. R. 2014. Quality indicators in subtropical soils of Formosa, Argentina: Changes for agriculturization process. Int. Soil Water Conserv. Res. 2(4):13-24. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30054-X](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30054-X).
- Bautista-Cruz, A.; Castillo, R. F.; Etchevers, B. J.; Gutiérrez, C. M. and Baez, A. 2012. Selection and interpretation of soil quality indicators for forest recovery after clearing of a tropical montane cloud forest in Mexico. For. Ecol. Manag. 277(1):74-80. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.04.013>.
- Cabrera, G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. Pastos y Forrajes. 35(4):346-363. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0864-03942012000400001&lng=es&tlng=es>.
- Cabrera-Mireles, H.; Murillo-Cuevas, F. D.; Villanueva-Jiménez, J. and Adame-García, J. 2019. Oribátidos, colémbolos y hormigas como indicadores de perturbación del suelo en sistemas de producción agrícola. Eco. Rec. Agropec. 6(17):231-241. <https://doi.org/10.19136/era.a6n17.2011>.
- Chi, L.; Huerta, L. E.; Álvarez, S. D.; Kú-Quej, V. and Mendoza, V. V. 2020. Abundance and diversity of soil macroinvertebrates in sugarcane (*Saccharum* spp.) plantations under organic and chemical fertilization in Belize. Acta Zool. Mex. 36(1):1-19. <https://doi.org/10.21829/azm.2020.3611106>.
- Cuadras-Berrellez, A. A.; Peinado-Guevara, V. M.; Peinado-Guevara, H. J.; López, J. D. J. and Herrera-Barrientos, J. 2021. Agricultura intensiva y calidad de suelos: retos para el desarrollo sustentable en Sinaloa. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 12(8):1401-1414. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2704>.

- Decaëns, T.; Lavelle, P. M.; Jiménez, J. J.; Escobar, G. and Rippstein, G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *Eur. J. Soil Biol.* 30(4):157-168.
- Ellis, E. A.; Romero, M. J. A.; Hernández, G. I. U.; Porter, B. L. and Ellis, P. W. 2017. Private property and Mennonites are major drivers of forest cover loss in central Yucatan Peninsula, Mexico. *Land Use Policy.* 69(12):474-484. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.09.048>.
- FAO. 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Estado mundial del recurso suelo (EMRS)-resumen técnico. Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia.
- FAO. 2017. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Roma, Italia.
- Ferat, M. A.; Galaviz, V. I. and Partida, S. S. 2020. Evaluación de nitrógeno y fósforo total en escorrentías agropecuarias en la cuenca baja del río Usumacinta, Tabasco, México. *Ecosistemas.* 29(1):1-5. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1879>.
- García, Y.; Ramírez, W. and Sánchez, S. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes.* 35(2):125-138.
- Giller, K. E.; Beare, M. H.; Lavelle, P.; Izac, A. M. and Swift, M. J. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Appl. Soil Ecol.* 6(1):3-16. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(96\)00149-7](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(96)00149-7).
- Ibarra-Castillo, D.; Ruiz-Corral, J.; González-Eguiarte, D.; Flores-Garnica, J. and Díaz, P. G. 2009. Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agric. Téc. Méx.* 35(3):267-276. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0568-25172009000300003&lng=es&tlng=es>.
- INEGI. 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/04/04007.pdf.
- Juárez-Rosete, C. R.; Aguilar-Castillo, J. A.; Aburto-González, C. A. and Alejo-Santiago, G. 2019. Biomass production, nutritional requirement of nitrogen, phosphorus and potassium, and concentration of the nutrient solution in oregano. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 25(1):17-28. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.02.006>.
- Krüger, I.; Chartin, C.; Wesemael, B. and Carnol, M. 2018. Defining a reference system for biological indicators of agricultural soil quality in Wallonia, Belgium. *Ecol. Indic.* 95(1):568-578, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.010>.
- Li, K.; Wang, C.; Zhang, H.; Zhang, J.; Jiang, R.; Feng, G.; Lui, X.; Zuo, Y.; Yuan, H.; Zhang, C.; Gai, J.; Tian, J.; Li, H. and Yu, B. 2022. Evaluating the effects of agricultural inputs on the soil quality of smallholdings using improved indices. *Catena.* 209(1):1-12. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105838>.
- Lorenzo-Flores, A.; Lorenzo-Flores, V.; Giacomán, C.; Ponce, C. and Ghozeisi, H. 2017. Adsorption of organophosphorus pesticides in tropical soils: the case of karst landscape of northwestern Yucatan. *Chemosphere.* 166(1):292-299. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.09.109.
- Martínez-Castro, C.; Ríos-Castillo, M.; Castillo-Leal, M.; Jiménez-Castañeda, J. and Cotera-Rivera, J. 2015. Sustentabilidad de agroecosistemas en regiones tropicales de México. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 18(1):113-120.

- Medina, M. J.; Alejo, S. G.; Soto, R. J. M. and Hernández, P. M. 2018. Rendimiento de maíz grano con y sin fertilización en el estado de Campeche. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9(21):4306-4316. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1532>.
- Mesa-Pérez, M.; Echemendía-Pérez, M.; Valdés-Carmenate, R.; Sánchez-Elías, S. and Guridi-Izquierdo, F. 2016. La macrofauna edáfica, indicadora de contaminación por metales pesados en suelos ganaderos de Mayabeque. *Cuba. Pastos y Forrajes.* 39(3):116-124. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0864-03942016000300006&lng=es&tlng=es>.
- Meza, A. M.; Castro, C. C.; Pereira, A. K. and Puga, M. G. 2017. Indicadores para el monitoreo de la calidad del suelo en áreas periurbanas. Valle de Quillota, cuenca del Aconcagua, Chile. *Interciencia.* 42(8):494-502.
- Montejo-Martínez, D.; Casanova-Lugo, F.; García-Gómez, M.; Oros-Ortega, I.; Díaz-Echeverría, V. and Morales-Maldonado, E. 2018. Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol. *Agron. Mesoam.* 29(2):325-341. <https://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i2.29511>.
- Mukhopadhyay, R.; Sarkar, B.; Jat, H. S.; Sharma, P. C. and Bolan, N. S. 2021. Soil salinity under climate change: challenges for sustainable agriculture and food security. *J. Environ. Manage.* 280(1):1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736>.
- Murillo-Cuevas, F. D.; Adame-García, J.; Cabrera-Mireles, H.; Villegas-Narváez, J. y Rivera-Meza, A. E. 2020. Fauna edáfica e insectos asociados a las arvenses en limón persa, monocultivo y policultivo. *Eco. Rec. Agropec.* 7(2):1-11. <https://doi.org/10.19136/era.a7n2.2508>.
- NOM-021-RECNAT-2000. Diario oficial de la federación. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis.
- Noval-Artiles, E.; García, D. R.; García, L. R.; Quiñones, R. R. y Mollineda, T. A. 2014. Caracterización de algunos componentes químicos en suelos de diferentes agroecosistemas ganaderos. *Centro Agrícola.* 41(1):25-31.
- Olsen, S. R. and Khasawneh, F. E. 1980. Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. The role of phosphorus in agricultura. 361-410 pp. <https://doi.org/10.2134/1980.roleofphosphorus.c15>.
- Palma-López, D.; Salgado-García, S.; Martínez, S. G.; Zavala-Cruz, G. y Lagunes-Espinoza, L. 2015. Cambios en las propiedades del suelo en plantaciones de eucalipto de Tabasco, México. *Eco. Rec. Agropec.* 2(5):163-172. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S200790282015000200004&lng=es&tlng=es>.
- Palma-López, D.; Zavala-Cruz, J.; Bautista-Zúñiga, F.; Morales-Garduza, M.; López-Castañeda, A.; Shirma-Torres, A.; Sánchez-Hernández, E.; Peña-Peña, A. y Tinal-Ortiz, S. 2017. Clasificación y cartografía de suelos del estado de Campeche, México. *Agroproductividad.* 10(12):71-78.
- Parvin, N.; Coucheney, E.; Gren, M.; Andersson, H.; Elofsson, K.; Jarvis, N. and Keller, T. 2022. On the relationships between the size of agricultural machinery, soil quality and net revenues for farmers and society. *Soil Sec.* 100044. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100044>.
- Porter-Bolland, L.; Ellis, E. A. and Gholz, H. L. 2007. Land use dynamics and landscape history in La Montaña, Campeche, Mexico. *Landsc. Urban Plan.* 82(4):198-207. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.008>.

- Qi, Y.; Ossowicki, A.; Yang, X.; Huerta-Lwanga, E.; Dini-Andreote, F.; Geissen, V. and Garbeva, P. 2020. Effects of plastic mulch film residues on wheat rhizosphere and soil properties. *J. Hazard. Mater.* 387(1):1-7. Doi:10.1016/j.jhazmat.2019.121711.
- Rosa, I. N. y Negrete, Y. S. 2012. Distribución espacial de la macrofauna edáfica en bosque mesófilo, bosque secundario y pastizal en la reserva La Cortadura, Coatepec, Veracruz, México. *Rev. Mex. Biodiv.* 83(1):201-215.
- SEMARNATCAM. 2009. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Campeche. Estrategia para la reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal del estado de campeche.
- SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>.
- Sofo, A.; Mininni, A. N. and Ricciuti, P. 2020. Comparing the effects of soil fauna on litter decomposition and organic matter turnover in sustainably and conventionally managed olive orchards. *Geoderma.* 372(1):1-8. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114393>.
- Sosa-Quintero, J. and Godínez-Álvarez, H. 2019. Human activities in a tropical Mexican desert: Impact of rainfed agriculture and firewood extraction on vegetation and soil. *Land Degrad Dev.* 30(5):494-503. <https://doi.org/10.1002/ldr.3235>.
- Torres-Torres, F. y Rojas-Martínez, A. 2019. Suelo agrícola en México: retrospectiva y prospectiva para la seguridad alimentaria. Instituto de Investigaciones Económicas (IIE)-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En edición. 9(3).
- Vargas, G. C. y García, O. M. 2018. Vulnerabilidad y sistemas agrícolas: una experiencia menonita en el sur de México. *Soc. Ambient.* 16(1):137-156. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S2007-65762018000100137&lng=es&tlng=es>.
- Vides-Borrell, E.; Porter-Bolland, L.; Ferguson, B.; Gasselin, P.; Vaca, R.; Valle-Mora, J. and Vandame, M. 2019. Polycultures, pastures and monocultures: effects of land use intensity on wild bee diversity in tropical landscapes of southeastern Mexico. *Biol. Conserv.* 236(1):269-280. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.04.025>.
- Villanueva-López, G.; Lara-Pérez, L.; Oros-Ortega, I.; Ramírez-Barajas, P.; Casanova-Lugo, F.; Ramos-Reyes, R. and Aryal, D. 2019. Diversity of soil macro-arthropods correlates to the richness of plant species in traditional agroforestry systems in the humid tropics of Mexico. *Agric. Ecosyst. Environ.* 286(1):1-8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106658>.
- Zhang, Y.; Zhang, X.; Li, X. and He, D. 2022. Interaction of microplastics and soil animals in agricultural ecosystems. *Curr. Opin. Environ. Sci. Health.* 26(1):1-8. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100327>.