



## IMPACTO DEL USO DEL SUELO SOBRE LA MESO Y MACROFAUNA EDÁFICA EN CAÑA DE AZÚCAR Y PASTO<sup>†</sup>

### [IMPACT OF LAND USE ON THE EDAPHIC MESO AND MACROFAUNA IN SUGARCANE AND PASTURE]

Héctor Cabrera-Mireles<sup>1</sup>, Félix D. Murillo-Cuevas<sup>2,\*</sup>, Jacel Adame-García<sup>2</sup> and José Antonio Fernández-Viveros<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental Cotaxtla, km. 34.5 carretera Federal Veracruz-Córdoba, municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, México.

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México / I.T. Úrsulo Galván, km 4.5 carretera Cardel-Chachalacas, Úrsulo Galván, Veracruz, México. Email: felix.murillo.itug@gmail.com

\*Corresponding author

#### RESUMEN

El uso de suelo asociado a la producción agrícola y ganadera es un factor clave en la biodiversidad edáfica. Desde hace más de 50 años, la región Centro de Veracruz ha cambiado el uso de suelo de áreas con vegetación nativa, hasta convertirse en áreas agrícolas o pecuarias, con cambios en las propiedades del suelo y su biota. En el presente estudio se comparó el impacto de usos de suelo con pasto, caña de azúcar y vegetación nativa en la meso y macrofauna edáfica. Se emplearon índices de abundancia, riqueza y diversidad de las comunidades presentes. El trabajo consideró las épocas de nortes, estiaje y lluvias, y utilizó dos profundidades de suelo (0-15 y 15-30 cm). En total, para los dos niveles de suelo se identificaron 16 taxones, siendo los más abundantes Formicidae, Oligochaeta, Isoptera y Carabidae, en las épocas de nortes y lluvias. La abundancia de la mayoría de grupos correspondió a suelo con vegetación nativa. La menor abundancia, riqueza, diversidad y equidad de meso y macrofauna se registró en época de estiaje y en uso de suelo con pasto. Se concluye que el cambio de uso de suelo para el cultivo de pasto puede tener un impacto negativo. **Palabras claves:** Agroecosistemas; *Saccharum officinarum*; fauna edáfica; bioindicadores; biodiversidad.

#### SUMMARY

The use of land associated with agriculture and pasture production is a key factor in soil biodiversity. For more than 50 years, land use has changed in the central region of Veracruz, from areas of native vegetation to agricultural or pasture areas, with changes in soil properties and biota. In the present study, the impact of land uses with pasture, sugarcane and native vegetation in the edaphic meso and macrofauna, was compared. For this, indices of abundance, wealth and diversity of existing communities were used. The work was carried out considering windy, rainy and dry seasons, using two soil depths (0-15 and 15-30 cm). In total, for the two soil levels, 16 taxa were identified, being the most abundant Formicidae, Oligochaeta, Isoptera and Carabidae, during windy and rainy seasons. Abundance of majority of groups corresponded to soil with native vegetation. The lowest abundance, richness, diversity and equity of meso and macrofauna was recorded during dry seasons and in the pasture land use. It is concluded that the change in land use for pasture cultivation can have a negative impact.

**Keywords:** Agroecosystems; *Saccharum officinarum*; edaphic fauna; bioindicators; biodiversity.

#### INTRODUCCIÓN

El uso de suelo asociado a la actividad agrícola y ganadera es uno de los factores claves que afecta a la biodiversidad edáfica, con impactos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que provoca una disminución general o pérdida total de éste (Cabrera y Zuaznábar, 2010; Cabrera *et al.*, 2011; Stechauner y Madriñán, 2013; Desiree *et al.*, 2014; Martínez *et al.*, 2014; Franco *et al.*, 2016). La

expansión de la actividad ganadera es rentable (Guevara y Moreno, 2008; SIAP, 2018a). El estado de Veracruz cuenta con cerca de 3.7 millones de ha de pastizales (alrededor del 51% de la superficie estatal), que se dedican principalmente a la producción ganadera extensiva, que lo han convertido en el primer productor nacional de carne de bovino y el quinto de leche (SIAP, 2018a). El estado también es el principal productor nacional de caña de azúcar con una superficie sembrada de 247,289 ha y una producción

<sup>†</sup> Submitted June 17, 2018 – Accepted December 30, 2018. This work is licensed under a [CC-BY 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).  
ISSN: 1870-0462

de 17,254,324 t, con un rendimiento de 70.26 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2018b). En la región Centro de Veracruz, desde hace más de 50 años se ha dado un cambio de uso de suelo, de las áreas de vegetación nativa hacia las agrícolas y/o pecuarias (Gobierno del Estado de Veracruz, 2016). La expansión de la frontera agrícola y pecuaria que predomina en esta región modifica los sistemas naturales para desarrollar actividades agrícolas y pecuarias, lo que conlleva cambios en las propiedades del suelo y su biota asociada. Las comunidades de fauna edáfica presentes están determinadas por la intensidad del cambio inducido respecto al ecosistema natural y por la habilidad de los organismos para adaptarse a esos cambios (Lavelle y Spain, 2001; Zerbino *et al.*, 2008).

La mesofauna edáfica (organismos entre 0.1 y 2.0 mm de diámetro) es importante por su abundancia, diversidad y función en el suelo; además, su gran aptitud para la especiación, sus ciclos de vida cortos y la poca dispersión de las especies, son características de la mesofauna que permiten considerarla un indicador ecológico (Bedano *et al.*, 2006<sup>a</sup>, 2006<sup>b</sup>; Eva y Penttinen, 2009). De la misma manera, la macrofauna edáfica (organismos mayores de 2.0 mm de diámetro) es determinante en la fertilidad del suelo y, por ende, en el funcionamiento global del sistema edáfico (Cabrera *et al.*, 2011; Cabrera, 2012); por consiguiente, varios autores proponen el uso de estos organismos como indicadores de la calidad o alteración del suelo, debido a que pueden ser afectados por diferentes usos y manejos del suelo; son susceptibles y presentan una rápida respuesta a los cambios en la cobertura vegetal, transformación de la diversidad y composición florística, así como a otras variables ambientales (Lavelle *et al.*, 2003; Lang-Overalle *et al.*, 2011).

Como indicador biológico del estado de conservación y/o perturbación del suelo, la macro y mesofauna edáfica debe estar relacionada con los atributos físicos y químicos del suelo, que a la vez manifiestan la productividad del ecosistema (Bedano *et al.*, 2006<sup>a</sup> y 2006<sup>b</sup>; Botina *et al.*, 2012; Tapia-Coral *et al.*, 2016). Dentro de la macrofauna edáfica se encuentran las lombrices de tierra, las cuales son afectadas por factores como el clima, alimentación, humedad, textura y condiciones químicas del suelo; por lo que éstas manifiestan cambios de composición y abundancia en una corta escala de tiempo (Clapperton, 1999; Momo *et al.*, 2003). Las lombrices de tierra tienden a prevalecer en ambientes edáficos húmedos, no compactados y con alto contenido de materia orgánica (Momo *et al.*, 2003). Organismos detritívoros como los diplópodos (milpiés), isópodos (cochinillas), algunos coleópteros (escarabajos) y gastrópodos (caracoles) pueden ser utilizados para indicar el estado de perturbación en el medio edáfico; estos organismos son muy sensibles a los cambios físicos y químicos del

suelo, así como a los cambios bruscos de temperatura y humedad en sus hábitats (Moore *et al.*, 2004; Zerbino *et al.*, 2008). Otros grupos como las termitas adquieren importancia en zonas de cultivos, donde su invasión y agresividad se relacionan con condiciones adversas de temperatura y humedad, así como con el contenido y la calidad del material orgánico en el suelo (Gutiérrez *et al.*, 2004; Laffont y Porcel, 2007; Hurtado *et al.*, 2017). Éstos son organismos oportunistas y más resistentes a perturbaciones inducidas, por lo que indican hábitats menos conservados o con algún nivel de degradación (Méndez y Equihua, 2001; Franco *et al.*, 2016). Las hormigas son organismos con mayor capacidad de sobrevivir en suelos agrícolas, a pesar de las alteraciones de su medio, lo que les permite una alta prevalencia en abundancia y resistencia con algún nivel de intervención antrópica (Rojas, 2001; Chanatásig-Vaca *et al.*, 2011).

En el presente estudio se evaluó el impacto de tres usos de suelo (pasto, caña de azúcar y vegetación nativa) en la meso y macrofauna edáfica, mediante indicadores de abundancia, riqueza taxonómica, equidad y diversidad de las comunidades; además, se exploraron sus relaciones con algunas propiedades del suelo y condiciones ambientales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el año 2017, en el municipio de Úrsulo Galván, Veracruz, México, durante las épocas climáticas predominantes: 1) época de nortes, que abarca los meses de enero y febrero, con ambiente seco y fresco, temperatura promedio máxima de 26.3 °C, y mínima de 17.7 °C; 2) época de estiaje, que abarca los meses de mayo y junio, con un ambiente seco y caluroso, temperatura promedio máxima de 32.5 °C y mínima de 24 °C; y, 3) época de lluvias, que abarca los meses de agosto y septiembre, con ambiente húmedo, temperatura promedio máxima de 31 °C y mínima de 23 °C. Los sitios de muestreo se establecieron en los terrenos pertenecientes al Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván (ITUG), con coordenadas de 19°24'43.13" Norte y 96°21'32.61" Oeste. El clima de esta región se clasifica como Aw por el sistema Köppen-Geiger, definido como cálido subhúmedo con lluvias en verano, con un rango de temperatura que oscila entre 24 y 26 °C, y un rango de precipitación entre 1100 y 1300 mm (INAP, 2013).

Se ubicaron tres tipos de uso de suelo: 1) suelo con al menos 30 años de producir caña de azúcar, con la variedad actual ATEMEX-96-40; 2) suelo manejado con pasto Mombasa (*Panicum maximum* cv. Mombasa con al menos 10 años de establecido); 3) suelo con vegetación nativa, siempre sin cultivo, que consistió en un fragmento de paisaje natural característico de la zona centro costera de Veracruz, donde predomina la selva baja, compuesta principalmente de especies

vegetales tales como ciruelillo (*Trichilia havanensis* Jacq.), cocuite (*Gliricidia sepium* Jacq.), cornezuelo (*Acacia cornígera* L.), cruceta (*Acanthocereus tetragonus* L.), crucetillo (*Randia monantha* Benth.), guázamo (*Guazuma ulmifolia* Lam.), palma de coyol (*Acrocomia mexicana* Jacq.), palo mulato (*Bursera simaruba* L.), tronadora (*Wissadula amplissima* L.), zarza bejuco (*Anredera cordifolia* Ten.), pica pica (*Mucuna pruriens* L.) y mimosa (*Mimosa albida* Willd.). Dentro de cada área de uso de suelo se establecieron dos parcelas de 10 m<sup>2</sup>, a una distancia aproximada entre sí de 15 m en caña de azúcar, 16 m en pasto y 60 m en suelo con vegetación nativa. Dentro de cada parcela, en cada uno de los usos de suelo, se establecieron dos puntos de muestreo de manera aleatoria, en los cuales se utilizó un cuadrante de 25 x 25 cm; las muestras de suelo se tomaron a dos profundidades, 0-15 cm y 15-30 cm; se colectaron cuatro muestras por profundidad, con un total de ocho por uso de suelo por fecha de muestreo.

Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Entomología y Agua-Suelo-Planta del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván (Tecnológico Nacional de México). La extracción de la macro y mesofauna del suelo se realizó de forma manual. Los organismos extraídos se mantuvieron almacenados en frascos con alcohol al 70% para su posterior identificación y conteo con microscopio estereoscópico. Los organismos se identificaron a nivel de Orden, Clase, Subclase y algunas Familias taxonómicas mediante las claves de Triplehorn y Johnson (2005). Una vez extraídos los organismos, se realizó el análisis fisicoquímico de las muestras de suelo (Tabla 1), para determinar el pH, fósforo diamónico (DAP), textura, materia orgánica (M.O.) K, Ca y Mg, de acuerdo con los métodos y equipos indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2001. La Tabla 1 muestra que los suelos estudiados son mayoritariamente arenosos, con diferentes niveles de pH, fósforo diamónico (DAP), porcentaje de arena y arcilla, calcio y magnesio. Los suelos con vegetación nativa cuentan con valores más altos de DAP, Ca y Mg, mientras que los suelos con caña de azúcar y pasto presentan valores similares. La proximidad entre los valores de pH, porcentaje de limo, materia orgánica y K en los diferentes usos de suelo permite suponer cierto grado de uniformidad en los suelos, incluso sin diferencias significativas en las características físico-químicas de los suelos en las dos profundidades (análisis de varianza, prueba de Tukey,  $P < 0.05$ ).

Además, con el número de individuos presentes por muestra se calculó la abundancia de los organismos; con el número de grupos (Clases, Órdenes y Familias) se calculó la riqueza, la diversidad con el índice de Shannon (H') y la equidad con el índice de Pielou (J').

Estos cálculos se realizaron con el programa EstimateS versión 8.2.0. Se realizó un análisis no paramétrico de la varianza (npMANOVA) para probar el efecto del cambio de uso de suelo, época del año y profundidad del suelo sobre la composición de la meso y macrofauna edáfica. Se utilizó un análisis de efectos mixtos lineales para la relación entre las variables individuales (abundancia, riqueza y diversidad) y el uso del suelo, época del año y profundidad del suelo. Se recurrió a un análisis de componentes principales (ACP) para visualizar las correlaciones entre grupos dominantes y entre atributos físico-químicos del suelo, y la prueba de esfericidad de Barlett para comprobar la significancia de las correlaciones entre las variables. Todos los análisis se realizaron con el programa IBM SPSS Statistics 20.

## RESULTADOS

Se identificaron 16 taxones, los cuales correspondieron a fauna de artrópodos (insectos, ácaros, arañas, escorpiones, ciempiés, milpiés y cochinillas), anélidos (lombrices de tierra) y moluscos (caracoles) (Tabla 2). Los taxones más abundantes fueron Formicidae (hormigas), Oligochaeta (lombriz de tierra), Isoptera (termitas), Carabidae (escarabajos), Scarabaeidae (escarabajos), Hemiptera (chinchas), Diplura (Dipluros), Acari (ácaros) y Chilopoda (ciempiés) en las épocas de nortes y lluvias. Mientras que la abundancia de la mayoría de los grupos correspondió a suelo con vegetación nativa, grupos como Isoptera, Acari, Isopoda y Diplura fueron más abundantes en suelo con caña de azúcar; solo los grupos Scarabaeidae y Carabidae estuvieron asociados al pasto (Tabla 2). Las diferencias en la composición de la fauna edáfica entre los usos de suelo fueron confirmadas por la prueba npMANOVA ( $F_{2,69} = 5.744$ ,  $p = 0.0001$ ), así como el efecto significativo de la época del año ( $F_{2,69} = 1.970$ ,  $p = 0.005$ ). El nivel de profundidad del suelo no registró diferencias significativas en la composición de la fauna ( $F_{1,70} = 1.314$ ,  $p = 0.222$ ).

El análisis de efectos mixtos lineales mostró que el uso del suelo, la época del año y el nivel de profundidad afectaron la abundancia total de los organismos ( $F_{2,72} = 15.678$ ,  $p = 0.0001$ ;  $F_{2,72} = 12.074$ ,  $p = 0.0001$ ;  $F_{1,72} = 9.574$ ,  $p = 0.003$ , respectivamente) y riqueza de taxones ( $F_{2,72} = 36.969$ ,  $p = 0.0001$ ;  $F_{2,72} = 32.544$ ,  $p = 0.0001$ ;  $F_{1,72} = 7.207$ ,  $p = 0.009$ , respectivamente). También reveló que sólo el uso de suelo y la época del año afectaron la diversidad ( $F_{2,72} = 6.565$ ,  $p = 0.002$ ;  $F_{2,72} = 15.999$ ,  $p = 0.0001$ , respectivamente) y equidad de organismos ( $F_{2,72} = 6.566$ ,  $p = 0.002$ ;  $F_{2,72} = 16.001$ ,  $p = 0.0001$ , respectivamente).

Tabla 1. Características físico-químicas del suelo con vegetación nativa, caña de azúcar y pasto, en parcelas experimentales del municipio de Úrsulo Galván, Veracruz, México.

Uso de Suelo/ Profundidad	pH	DAP	Arena	Limo	Arcilla	M.O.	K	Ca	Mg
<b>Usos de Suelo</b>			----- % -----				----- Cmol/Kg -----		
Vegetación nativa	7.4 a	1.3 a	76.7 a	9.9 a	13.6 a	3.5 a	0.19 a	73.3 a	19.8 a
Caña de azúcar	7.2 ab	1.1 b	57.4 b	10.4 a	32.1 b	2.9 a	0.12 a	39.1 b	11.6 b
Pasto	7.1 b	1.1 b	78.3 a	7.2 a	14.4 a	3.3 a	0.09 a	29.3 b	10.7 b
Valor de <i>p</i>	0.01*	0.00*	0.00*	0.06 ns	0.00*	0.20 ns	0.11 ns	0.00*	0.04*
<b>Profundidad</b>									
0-15 cm	7.2 a	1.1 a	69.8 a	9.7 a	20.7 a	3.3 a	0.15 a	53.9 a	14.6 a
15-30 cm	7.3 a	1.2 a	71.8 a	8.7 a	19.4 a	3.1 a	0.11 a	40.5 a	13.4 a
Valor de <i>p</i>	0.38 ns	0.22 ns	0.28 ns	0.39 ns	0.23 ns	0.43 ns	0.32 ns	0.06 ns	0.68 ns

Letras diferentes muestran diferencia significativa\*. ns = no diferencias significativas. *p* = probabilidad. M.O. = Materia orgánica.

Tabla 2. Abundancia (Número de individuos) de grupos de meso y macrofauna en tres usos de suelo (VN, CA, Pa), en tres épocas del año, a una profundidad de 0-30 cm en Úrsulo Galván, Ver. México.

Taxones	Nombre común	Nivel taxonómico	Nortes			Estiaje			Lluvias		
			VN	CA	Pa	VN	CA	Pa	VN	CA	Pa
<i>Insecta</i>											
Formicidae	Hormigas	Familia	240	56	15	44	20	17	85	46	7
Isoptera	Termitas	Orden	33	67	0	1	39	3	24	99	3
Lepidoptera	Palomillas	Orden	14	2	1	5	0	0	39	2	1
Staphylinidae	Escarabajos	Familia	2	1	2	3	0	1	21	7	2
Scarabaeidae	Escarabajos	Familia	15	8	25	2	0	27	8	5	22
Carabidae	Escarabajos	Familia	18	10	15	4	3	4	12	16	11
Hemiptera	Chinches	Orden	3	8	1	1	6	0	13	14	2
Diplura	Dipluros	Orden	7	12	0	0	3	1	14	18	3
<i>Arachnida</i>											
Araneae	Arañas	Orden	18	9	0	4	3	1	17	2	1
Escorpionidae	Escorpiones	Familia	4	3	0	8	0	0	9	1	1
Acari	Ácaros	Subclase	4	13	0	1	9	0	4	19	3
<i>Myriapoda</i>											
Diplopoda	Milpiés	Clase	7	2	3	5	0	0	23	5	1
Chilopoda	Ciempíes	Clase	30	3	1	3	2	0	30	27	2
<i>Crustacea</i>											
Isopoda	Cochinillas	Orden	2	11	2	2	8	0	7	15	3
<i>Annelida</i>											
Oligochaeta	Lonbrices	Subclase	105	53	34	16	2	0	72	41	33
<i>Mollusca</i>											
Gastropoda	Caracoles	Clase	69	8	0	5	8	4	10	5	4
Total			571	266	99	106	103	58	388	322	99

VN = Vegetación nativa, CA = Caña de azúcar y Pa = Pasto.

En cuanto a la riqueza por época del año, la Figura 1b muestra que en la época de nortes, el suelo con vegetación nativa mantuvo mayor número de taxones que el suelo con caña de azúcar, y este último más que

el suelo con pasto. En la época de lluvias, el suelo con vegetación nativa y con caña de azúcar fueron similares en riqueza de taxones y diferentes al suelo con pasto, el cual tuvo la menor cantidad de taxones.

En la época de estiaje no hubo diferencias significativas entre los usos de suelo, en relación a la riqueza de taxones. La mayor diversidad y equidad de organismos por época del año se registraron en suelos con caña de azúcar y vegetación nativa, en las épocas de nortes y lluvias, sin diferencias significativas entre sí (Figura 1c y 1d).

En cada época del año, uso y profundidad de suelo se encontró un porcentaje distinto de organismos. La Figura 2 muestra que la capa superior del suelo (0-15 cm) albergó la mayor abundancia (64%) de organismos, y que el suelo usado con caña de azúcar, registró 66% de organismos a la profundidad de 0-15 cm, mientras que en vegetación nativa fue de 64% y 56% en pasto. Tomando en cuenta todas las épocas del año y usos de suelo, la abundancia de la meso y macrofauna disminuyó en aproximadamente 548 individuos de la menor a la mayor profundidad del suelo.

En la época de nortes, el suelo con vegetación nativa presentó mayor abundancia de hormigas en la capa superior del suelo (0-15 cm) y de lombrices de tierra en la capa inferior (15-30 cm), los caracoles estuvieron igualmente representados en las dos profundidades del suelo y las termitas solo se registraron en la capa superior (Figura 2a); en el suelo con caña de azúcar,

las termitas fueron más abundantes y estuvieron igualmente representados que las hormigas y las lombrices de tierra (Figura 2b); y en el suelo con pasto, los escarabajos abundaron más en las dos profundidades y las lombrices en la capa superior (Figura 2c). En la época de estiaje, tanto la abundancia como la riqueza de la meso y macrofauna disminuyeron drásticamente y se observó una tendencia a conservar el número de organismos en la profundidad mayor (15-30 cm) (Figura 2d, e y f). También se dio la dominancia de las hormigas bajo el suelo con vegetación nativa, sin embargo, en la mayor profundidad del suelo las lombrices de tierra se redujeron drásticamente (Figura 2d).

En la época de estiaje, el suelo con caña de azúcar conservó mayor abundancia de organismos en la primera capa del suelo (0-15 cm), donde predominaron las termitas y en la capa más profunda (15-30 cm) hubo una representación más equitativa de la abundancia de los organismos, mientras que las lombrices de tierra prácticamente desaparecieron (Figura 2e). En suelo con pasto, los escarabajos mantuvieron su dominancia, con números más estables a la profundidad de 15-30 cm y las lombrices de tierra tienden a desaparecer en este tipo y estrato de suelo (Figura 2f).

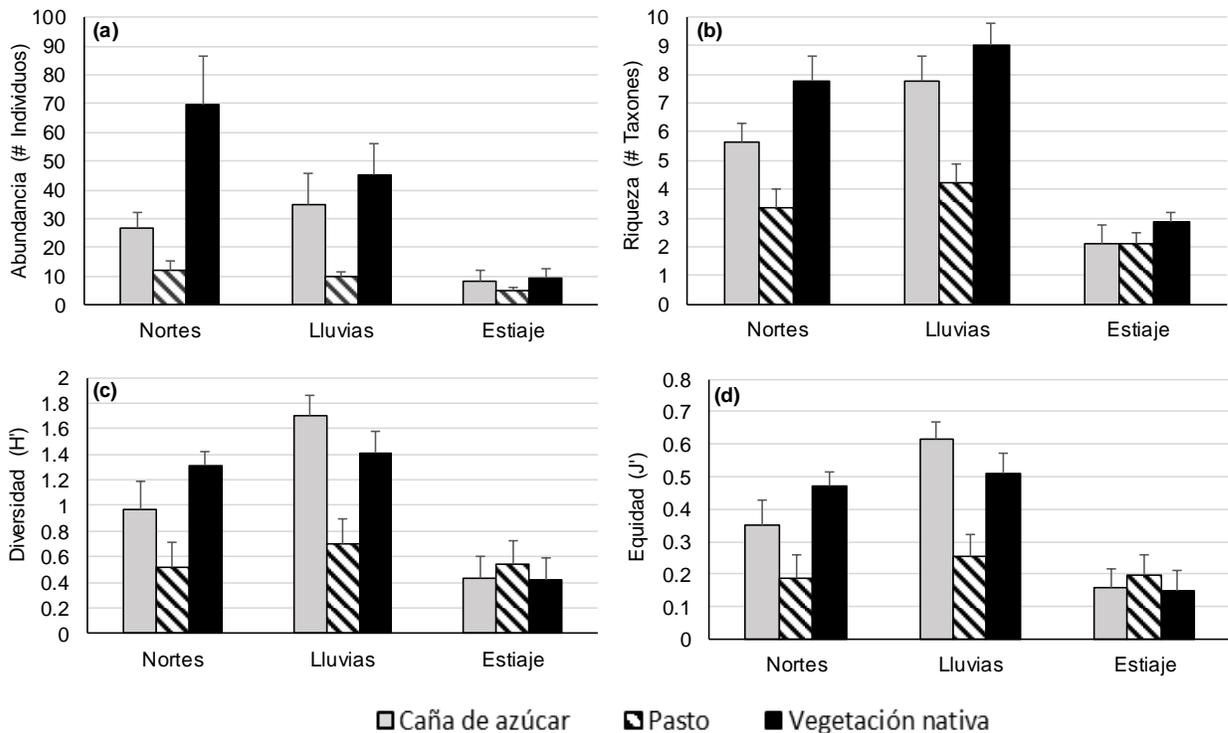


Figura 1. Abundancia (a), riqueza (b), diversidad (c), y equidad (d) de meso y macrofauna a profundidad de 0-30 cm, en función del uso de suelo en el municipio de Úrsulo Galván, Veracruz, México.  $n = 8$ , las barras sobre las columnas denotan el error estándar de la media.

En época de lluvias, hubo una recuperación de la abundancia y la riqueza de la meso y macrofauna, con los registros más altos en la primera capa del suelo (0-15 cm) (Figura 2g, h y i); los suelos con vegetación nativa y caña de azúcar mantuvieron el tipo de organismos, con la diferencia de que en vegetación nativa predominaron las hormigas y en caña de azúcar las termitas (Figura 2g y h); en suelo con pasto se recuperaron las lombrices de tierra y siguió la predominancia de los escarabajos (Figura 2i). Las arañas y ácaros estuvieron representados principalmente en suelo con vegetación nativa y en menor cantidad en suelo con caña de azúcar (Figura 2).

El análisis de componentes principales (ACP) presentó diferencias ( $p = 0.0001$ ) en la separación de los grupos taxonómicos, en función de los usos de suelo (Figura 3). El primer componente explicó 22.6% de la variabilidad de los datos y separó a las arañas, lombrices, larvas de palomillas o mariposas,

escarabajos estafilínidos, carábidos, cochinillas de tierra, ciempiés, chinches, termitas y dipluros (Figura 3a), distribuidos principalmente en usos de suelo con caña de azúcar y vegetación nativa (Figura 3b). El segundo componente explicó 12.0% de la variabilidad de los datos y separó a los caracoles, hormigas, escarabajos, ácaros y escorpiones, distribuidos en los tres usos de suelo (Figura 3b). En la Figura 4, el ACP mostró que los atributos fisicoquímicos del suelo no están igualmente representados en los diferentes usos de suelo ( $p = 0.0001$ ). El primer componente explicó 32.0% de la variabilidad de datos y separó principalmente a la arena, M.O., K, DAP, limo y pH (Figura 4a) con mayor magnitud en suelo con caña de azúcar y vegetación nativa (Figura 4b). El segundo componente explicó 21.9% de la variabilidad de datos y separó al Ca y Mg (Figura 4a) para los tres usos de suelo (Figura 4b).

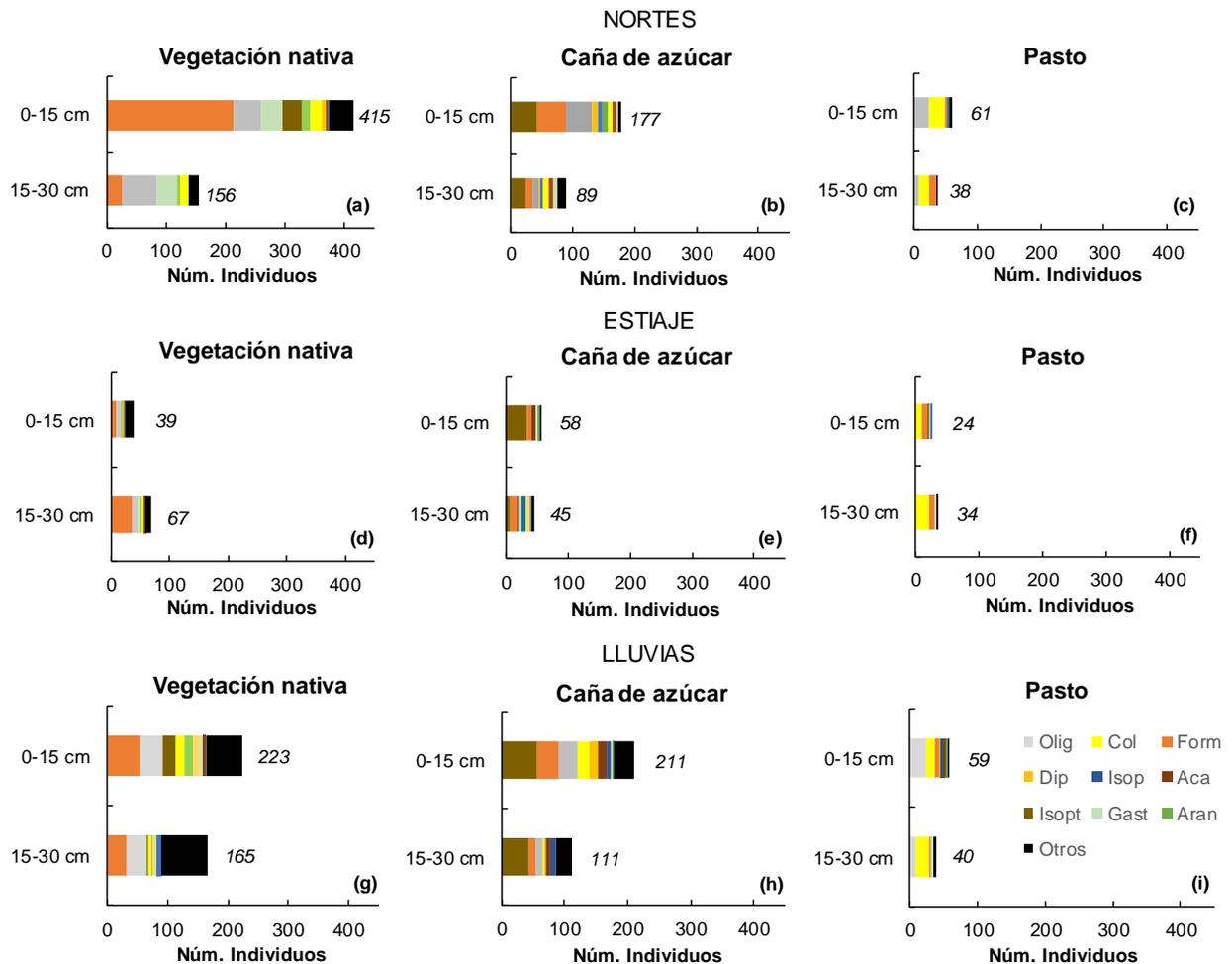


Figura 2. Distribución vertical y composición de grupos taxonómicos de la meso y macrofauna del suelo bajo vegetación nativa, caña de azúcar y pastos en el municipio de Úrsulo Galván, Veracruz, México. Los números en cursiva se refieren a la abundancia total en cada profundidad.  $n = 4$ . Abreviaturas: Aran = Araneae, Aca = Acari, Col = Coleoptera, Dip = Diplopoda, Form = Formicidae, Isop = Isopoda, Isopt = Isoptera, y Olig = Oligochaeta.

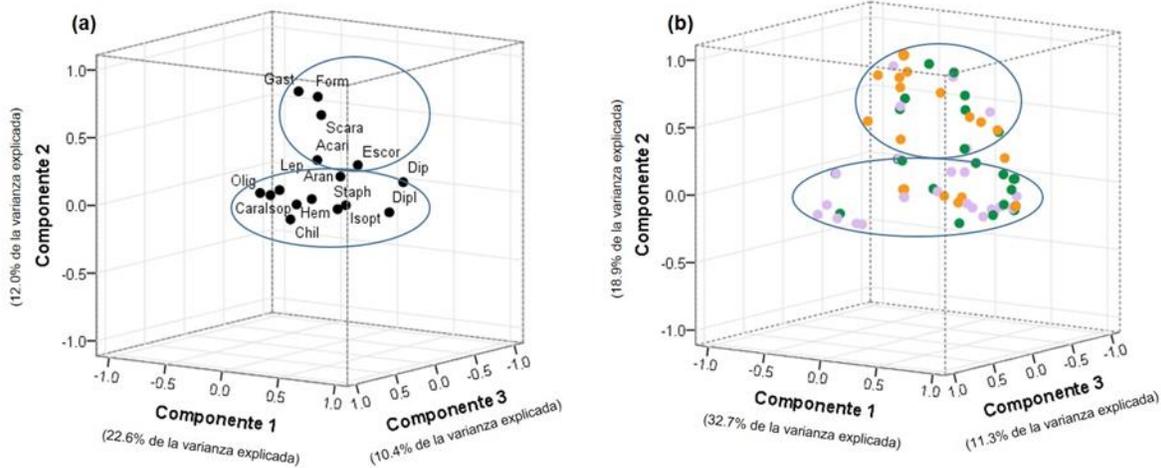


Figura 3. Gráficos de componentes en espacio rotado del análisis de componentes principales: a) Para las variables: Gastropoda (Gast), Formicidae (Form), Scarabaeidae (Scara), Acari, Escorpionidae (Escor), Dip (Diplopoda), Dipl (Diplura), Aran (Araneae), Hemiptera (Hem), Lepidoptera (Lep), Oligochaeta (Olig), Carabidae (Car), Isopoda (Isop), Isoptera (Isopt), Chilopoda (Chil) y Staphylinidae (Staph), en función a los usos de suelo. b) De los sistemas de uso del suelo en función de los indicadores, círculos de color naranja (pasto), verde (vegetación nativa) y rosa (caña de azúcar).

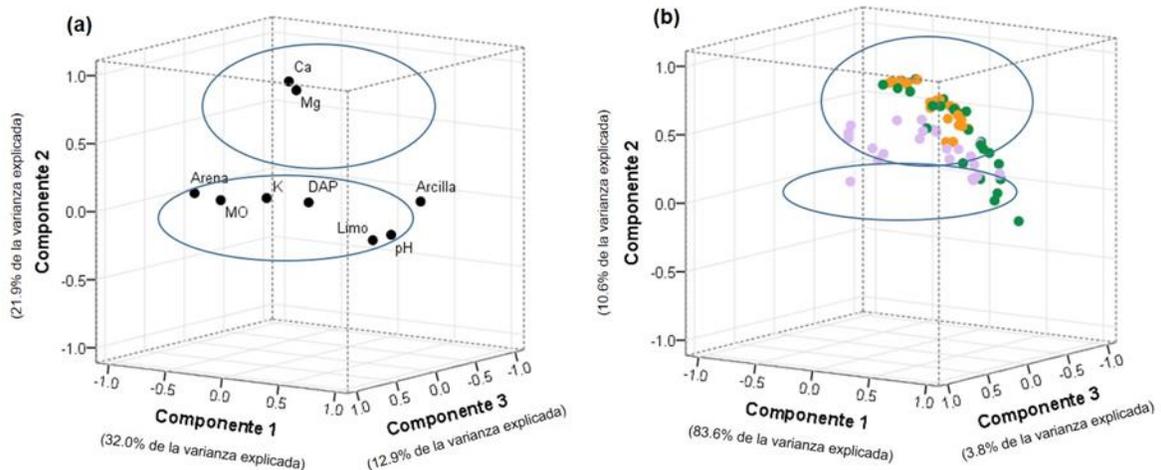


Figura 4. Gráficos de componentes en espacio rotado del análisis de componentes principales: a) Para las variables: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Arena, Potasio (k), Materia orgánica (MO), Fosfato diamónico (DAP), Limo, pH y Arcilla. b) De los sistemas de uso del suelo en función de los indicadores, círculos de color naranja (pasto), verde (vegetación nativa) y rosa (caña de azúcar).

## DISCUSIÓN

La secuencia típica del cambio de uso de suelo en la región de estudio comienza con la conversión de la vegetación nativa a caña de azúcar y luego de caña de azúcar a la conversión a pasto para la ganadería (Gobierno del Estado de Veracruz, 2016). Como era de esperarse, los suelos con vegetación nativa fueron muy diversos en los grupos de meso y macrofauna, lo que sugiere un mayor complemento de grupos y funciones ecológicas en comparación con los suelos con caña de azúcar y pastos (Franco *et al.*, 2016). Los suelos con vegetación nativa también mantuvieron una mayor abundancia de depredadores como arañas, escorpiones

y ciempiés. Las hormigas y las lombrices fueron los grupos más abundantes en la vegetación nativa, registrándose un patrón similar a lo reportado por Silva *et al.* (2007) y Cabrera *et al.* (2011). Hormigas y lombrices desempeñan un papel clave en la función de los ecosistemas tropicales (Rojas, 2001; Momo *et al.*, 2003; Lavelle *et al.*, 2006) mediante la formación y estabilización de la estructura de los suelos muy degradados, entre otras (Ayuke *et al.*, 2011).

La caña de azúcar cultivada a partir de vegetación nativa y de manera persistente (30 años) en ecosistemas tropicales, proporciona hábitats de suelo adecuados para una gran abundancia de grupos específicos de meso y macrofauna del suelo (Lang-

Ovalle *et al.*, 2011; Cabrera *et al.*, 2011), lo cual fue confirmado con nuestros resultados, donde el uso suelo con caña de azúcar fue similar al de vegetación nativa en grupos taxonómicos, abundancia y diversidad (Figura 1 y 2). Estos resultados coinciden con Lang-Ovalle *et al.* (2011), quienes reportaron similitud en cuanto a diversidad y riqueza de macrofauna en mango y caña persistente; también coinciden con Barajas-Guzmán y Álvarez-Sánchez (2003), quienes reportaron una nula variación de riqueza taxonómica de fauna entre diferentes ambientes agrícolas y naturales. Las termitas, dipluros, ácaros, cochinillas y lombrices de tierra abundaron bajo el suelo con caña de azúcar, esto probablemente debido a las características del cultivo de caña persistente, ya que se tiene la hipótesis de que en este sistema se presenta una mayor estabilidad poblacional de fauna edáfica respecto a caña reciente, dado que los organismos se encuentran mayormente adaptados a ambientes perturbados (Lang-Ovalle *et al.*, 2011). La abundancia de termitas y lombrices de tierra en suelo con caña de azúcar puede tener impactos positivos en la estabilidad estructural del suelo, ya que estos organismos tienen la capacidad de moverse a través del suelo y construir estructuras biogénicas estables en propiedades físicas, químicas y microbiológicas específicas (Jouquet *et al.*, 2006).

Contrariamente a lo que se ha reportado en algunos trabajos (Benito *et al.*, 2004; Decaens *et al.*, 2004), la conversión de uso de suelo con vegetación nativa o caña de azúcar a pasto tendría un impacto negativo en la abundancia, riqueza y diversidad de la fauna del suelo, como lo confirman nuestros resultados (Figura 1 y 2). Los valores más bajos de biodiversidad en suelo con pasto indicaron una avanzada degradación del suelo, probablemente debido a la intensidad del uso del suelo, como lo indican Barros *et al.* (2002) y Cabrera (2012). Algunos factores que podrían haber influido en estos resultados fueron la menor diversidad de plantas, pisoteo del ganado, compactación y erosión del suelo, que son características de un suelo con sobrepastoreo (Martínez *et al.*, 2014). Sin embargo, estas condiciones pueden proporcionar hábitats adecuados para grupos de macrofauna del suelo como los escarabajos, los cuales fueron más abundantes en pasto que en vegetación nativa y caña de azúcar (Tabla 1); esto también lo han demostrado otros autores (Benito *et al.*, 2004; Decaens *et al.*, 2004).

En general, la época del año en el sitio de estudio tuvo un efecto significativo en la meso y macrofauna del suelo, contrariamente a lo reportado por Lang-Ovalle *et al.* (2011) en macrofauna de suelos de caña de azúcar y mango. En nuestro estudio la época de estiaje impactó negativamente la abundancia, riqueza y diversidad de los organismos, mientras que las lluvias y nortes las favoreció (Figuras 1 y 2). Es probable que parte de este resultado se deba a que estos organismos

habitan en el interior del suelo, lo cual hace que sufran más los cambios físicos del suelo en la época de estiaje y estén más protegidos de las inclemencias de las lluvias o de bajas temperaturas; situación contraria a organismos que habitan sobre el suelo, los cuales pueden ser afectados por exceso de lluvias o bajas temperaturas, como lo reportan Cabrera *et al.* (2009) en insectos de hábitos terrestres en sistemas de manejo de mango Manila, donde las lluvias afectaron más a las comunidades de organismos.

Los suelos del estudio, sin diferencias significativas en las propiedades físico-químicas y a los niveles de profundidad (Tabla 1), parecen haber sido parcialmente homogeneizados como resultado de la intervención del hombre (vegetación nativa intervenida, caña de azúcar con laboreo agrícola y pastizales como monocultivos con manejo ganadero); sin embargo, hubo una mayor concentración de meso y macrofauna edáfica en la capa superficial del suelo (0-15 cm) (Figura 2), lo cual coincide con lo reportado por Franco *et al.* (2016), quienes indican que la mayor distribución de fauna edáfica en capas superiores del suelo probablemente sea una función de la concentración de hojarasca en la superficie y la menor densidad aparente en la capa superior del suelo (Cherubin *et al.*, 2015).

El ACP indicó la ocurrencia preferencial de los grupos de meso y macrofaunas más abundantes en los suelos con vegetación nativa y caña de azúcar, en lugar de los suelos con pasto (Figura 3). Como se mencionó anteriormente, la conversión de vegetación nativa o caña de azúcar a pastos involucra menor diversidad de plantas, pisoteo del ganado, compactación y erosión del suelo, que destruyen los hábitats de los invertebrados del suelo. La relación positiva entre la mayoría de las variables físico-químicas y los suelos de vegetación nativa y caña de azúcar se ilustra en la ACP (Figura 4). La diversidad y abundancia de la vegetación nativa en el suelo y las aplicaciones sucesivas de fertilizantes en suelos de caña de azúcar pueden explicar esta asociación, así como el amplio predominio de las termitas en suelos con caña de azúcar (Lang-Ovalle *et al.*, 2011).

A pesar de la rentabilidad de la actividad ganadera, los resultados llaman la atención sobre una pérdida significativa de biodiversidad debido al cambio de uso de suelo de vegetación nativa o caña de azúcar a pastizales. Es necesario rediseñar los sistemas de pastoreo en monocultivo a sistemas más amigables con el ambiente, tal como el sistema silvopastoril, que es una forma más sustentable de hacer ganadería y conservar la calidad del suelo (Haile *et al.*, 2010; Palma y Anguiano, 2015). El cultivo de caña de azúcar es una de las actividades productivas más importantes que depende de prácticas agrícolas intensivas que puede afectar la biodiversidad del suelo. Es necesario

realizar más investigaciones para vincular las respuestas de la fauna edáfica con la expansión del cultivo y relacionarlos con otros indicadores de calidad del suelo, con la finalidad de evaluar prácticas de manejo que puedan minimizar cada vez más los posibles efectos perjudiciales del cultivo sobre la biota del suelo.

### CONCLUSIONES

El uso de suelo con pasto impactó negativamente la abundancia, la riqueza y, como consecuencia, la diversidad de la meso y macrofauna edáfica, con mayor efecto en la época de estiaje. Los usos de suelo con caña de azúcar y vegetación nativa mantuvieron una abundancia, riqueza y diversidad similares en meso y macrofauna edáfica, lo que indica que el cultivo de caña de azúcar no afectó negativamente a los organismos del suelo. Las épocas de nortes y lluvias, y la mayor magnitud de M.O., K, DAP, limo y pH en los suelos con vegetación nativa y caña de azúcar favorecieron la abundancia, riqueza y diversidad de la meso y macrofauna edáfica.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México por financiar este trabajo a través del proyecto Institucional con clave 6218.17-P. Agradecemos a estudiantes de biología y agronomía del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván por el apoyo en el trabajo de campo y procesamiento de muestras.

### REFERENCIAS

- Ayuke, F.O., Brussaard, L., Vanlauwe, B., Six, J., Lelei, D.K., Kibunja, C.N., Pulleman, M.M. 2011. Soil fertility management: impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. *Applied Soil Ecology* 48: 53-62. DOI: 10.1016/j.apsoil.2011.02.001
- Barajas-Guzmán, G., Álvarez-Sánchez, J. 2003. La comunidad desintegradora en una selva húmeda tropical. pp. 162-184. *In: Álvarez Sánchez, J., Naranjo García, E. (eds.). Ecología del Suelo en la Selva Tropical Húmeda de México.* Instituto de Ecología A. C., Instituto de Biología y Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. <http://hdl.handle.net/11154/141914>
- Barros, E., Pashanasi, B., Constantino, R., Lavelle, P. 2002. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils* 35: 338-347. DOI: 10.1007/s00374-002-0479-z
- Bedano, J.C., Cantu, M.P., Doucet, M.E. 2006a. Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Applied Soil Ecology* 32: 293-304. DOI: 10.1016/j.apsoil.2005.07.009
- Bedano, J.C., Cantu, M.P., Doucet, M.E. 2006b. Soil springtails (Hexapoda: Collembola), symphylans and pauropods (Arthropoda: Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina). *European Journal of Soil Biology* 42: 107-119. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2005.11.004
- Benito, N.P., Brossard, M., Pasini, A., Guimaraes, M.D., Bobillier, B., 2004. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). *European Journal of Soil Biology* 40: 147-154. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2005.02.002
- Botina, G.B., Velásquez, I.A., Bacca, T., Castillo, F.J., Dias, G.L. 2012. Evaluación de la macrofauna del suelo en *Solanum tuberosum* (Solanales: Solanaceae) con sistemas de labranza tradicional y mínima. *Boletín Científico, Centro de Museos, Museo de Historia Natural* 16: 69-77. <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n2/v16n2a07.pdf>
- Cabrera, G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación / perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes* 35: 349-364. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_artt\\_ext&pid=S0864-03942012000400001&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_artt_ext&pid=S0864-03942012000400001&lng=es&tlng=es)
- Cabrera, G., Robaina, N., Ponce de León, D. 2011. Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes* 34: 313-330. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v34n3/pyf07311.pdf>
- Cabrera, J.A., Zuaznábar, R. 2010. Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del carbono. *Cultivos Tropicales* 31: 5-13. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v31n1/ctr01110.pdf>
- Cabrera, M.H., Murillo, C.F.D., Gutiérrez, V.H.R., Yopihua, P.J., Ortega, Z.D.A., Villanueva, J.J.A. 2009. Abundancia y diversidad de artrópodos terrestres en sistemas de manejo de producción de mango Manila (*Mangifera indica* L.) en Veracruz. *In: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Universidad Veracruzana, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Instituto Tecnológico de Boca del*

- Río (eds.). Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal y Acuícola en el Trópico Mexicano. Libro Científico Núm. 6. ISBN: 978-607-425-214-9. Veracruz, México. pp. 111-118. [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1568/Avances\\_en\\_la\\_investigacion\\_agricola\\_pecuaria\\_forestal\\_y\\_acuicola\\_en\\_el\\_tropico\\_mexicano\\_2009.pdf;jsessionid=4173487959A587357DDF2B5FE28CC712?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1568/Avances_en_la_investigacion_agricola_pecuaria_forestal_y_acuicola_en_el_tropico_mexicano_2009.pdf;jsessionid=4173487959A587357DDF2B5FE28CC712?sequence=1)
- Chanatásig-Vaca, C.I., Lwanga, H.E., Rojas, F.P., Ponce-Mendoza, A., Mendoza, V.J., Morón, R.A., Van der Wal, H., Dzib-Castillo, B.B. 2011. Effect of soil use in ants (Formicidae: Hymenoptera) in Tikinmul, Campeche, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 27: 441-461. <http://www.redalyc.org/pdf/575/57520744016.pdf>
- Cherubin, M.R., Eitelwein, M.T., Fabbris, C., Weirich, S.W., Silva, R.F., Silva, V.R., Basso, C.J. 2015. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39: 615-625. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcbs20140462>
- Clapperton, M.J. 1999. Tillage practices, and temperature and moisture interactions affect earthworm populations and species composition. *Pedobiologia* 43: 658-665. [https://www.researchgate.net/publication/285918849\\_Tillage\\_practices\\_and\\_temperature\\_and\\_moisture\\_interactions\\_affect\\_earthworm\\_populations\\_and\\_species\\_composition](https://www.researchgate.net/publication/285918849_Tillage_practices_and_temperature_and_moisture_interactions_affect_earthworm_populations_and_species_composition)
- Decaens, T., Jimenez, J.J., Barros, E., Chauvel, A., Blanchart, E., Fragoso, C., Lavelle, P. 2004. Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 103: 301-312. DOI: 10.1016/j.agee.2003.12.005
- Desiree, J.I., Pita, A.V., Floor, V.D.H., Andre, P.C.F. 2014. Biodiversity impacts of bioenergy crop production: a state-of-the-art review. *Glob Change Biol Bioenergy* 6: 183-209. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12067>
- Eeva, T., Penttinen, R. 2009. Leg deformities of oribatid mites as an indicator of environmental pollution. *Science of the Total Environment* 407: 4771-4776. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.05.013
- Franco, A.L.C., Bartz, M.L.C., Cherubin, M.R., Baretta, D., Cerri, C.E.P., Feigl, B.J., Wall, D.H., Davies, C.A., Cerri, C.C. 2016. Loss of soil (macro) fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. *Science of the Total Environment* 563-564: 160-168. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.116
- Gobierno del Estado de Veracruz. 2016. Capítulo IV. Economía fuerte para el progreso de la gente. Apartado IV.2 Desarrollo Agropecuario: detonador del crecimiento. Plan Veracruzano de Desarrollo. Gobierno del Estado de Veracruz, Xalapa, Veracruz, México. pp. 128-133. <http://www.invedem.gob.mx/wp-content/uploads/sites/26/2014/03/tf07-pvd-act-real-pnd-plan-mpales.pdf>
- Guevara, S.S., Moreno, C.P. 2008. El dilema de los recursos naturales: La ganadería en el Trópico de México. *Guaraguao* 29: 9-23. <https://www.jstor.org/stable/25596654>
- Gutiérrez, A.I., Uribe, S., Quiroz, J.A. 2004. Termitas asociadas a plantaciones de *Eucalyptus* spp. en una reforestadora en Magdalena, Colombia. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 72: 54-59. <http://www.sidalc.net/repdoc/A1904e/A1904e.pdf>
- Haile, S.G., Nair, V.D., Nair, P.K.R. 2010. Contribution of trees to carbon storage in soils of silvopastoral system in Florida, USA. *Global Change Biology* 16: 427-438. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.01981.x
- Hurtado, H.Y., Manga, D.A., Sepúlveda-Cano, P.A. 2017. Registro de termitas (Isoptera) asociadas a cultivos de mango (*Mangifera indica*) en el departamento del Magdalena, Colombia. *Revista Intropical* 12: 109-115. DOI: 10.21676/23897864.2286
- INAP (Instituto Nacional de Administración Pública, A.C.) 2013. Diagnósticos Municipales PACMA, Entidad: Veracruz de Ignacio de la Llave, Municipio: Úrsulo Galván (191). INAP, México D.F. 49 p. <http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2016/05/Ursulo-Galv%C3%A1n.pdf>
- Jouquet, P., Dauber, J., Lagerlof, J., Lavelle, P., Lepage, M. 2006. Soil invertebrates as ecosystem engineers: intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Applied Soil Ecology* 32: 153-164. DOI: 10.1016/j.apsoil.2005.07.004
- Laffont, E.R., Porcel, E.A. 2007. Diversidad de termitas (Isoptera) en pastizales del nordeste de la provincia de Corrientes, Argentina. *Revista Colombiana de Entomología* 33: 82-85. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v33n1/v33n1a15.pdf>
- Lang-Ovalle, P.F., Pérez-Vázquez, A., Martínez-Dávila, J.P., Platas-Rosado, D.E., Ojeda-Enciso, L.A., González-Acuña, I.J. 2011. Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de mango y caña de azúcar. *Terra*

- Latinoamerica 29: 169-177.  
<http://www.redalyc.org/pdf/573/57321257007.pdf>
- Lavelle, P., Spain, A.V. 2001. Soil Ecology. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 654 p.
- Lavelle, P., Senapati, B., Barros, E. 2003. Soil macrofauna. In: Schroth, G., Sinclair, F.L. (eds.). Trees, Crops and Soil Fertility. Concepts and Research Methods. CABF Publishing, UK. pp. 303.  
<http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Agricultural-Chemistry/Trees-Crops-and-Soil-Fertility.pdf>
- Lavelle, P., Decaens, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J.P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. European Journal of Soil Biology 42: S3-S15. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2006.10.002
- Martínez, J., Cajas, Y.S., León, J.D., Osorio, N.W. 2014. Silvopastoral systems enhance soil quality in grasslands of Colombia. Applied and Environmental Soil Science. 2014(359736): 1-8. DOI: 10.1155/2014/359736
- Méndez, M.J.T., Equihua, M.A. 2001. Diversidad y manejo de los termites de México (Hexapoda, Isoptera). Acta Zoológica Mexicana (n.s.) 1: 173-187.  
<http://www.acuedi.org/ddata/2229.pdf>
- Momo, F.R., Falco, L.B., Craig, E.B. 2003. Las lombrices de tierra como indicadores del deterioro del suelo. Revista de Ciencia y Tecnología 8: 55-63.  
[http://www.ungs.edu.ar/ms\\_ici/wp-content/uploads/2015/11/Lombrices-como-indicadoras-de-deterioro-del-suelo.pdf](http://www.ungs.edu.ar/ms_ici/wp-content/uploads/2015/11/Lombrices-como-indicadoras-de-deterioro-del-suelo.pdf)
- Moore, J.C., Berlow, E.L., Coleman, D.C., Ruitter, P.C., Dong, Q., Hastings, A., Johnson, N.C., Mccann, K. S., Melville, K., Morin, P.J., Nadelhoffer, K., Rosemond, A.D., Post, D.M., Sabo, J.L., Scow, K.M., Vanni, M.J., Wall, D.H. 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. Ecology Letters 7: 584-600. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2004.00606.x.
- Palma, G.J.M., Anguiano, C.J.M. 2015. Sistemas silvopastoriles en el mejoramiento de los sistemas de producción bovina en ganadería de doble propósito en México. In: Núñez, D.R., Ramírez, V.R., Fernández, R.S., Araujo, F.O., García, W.M., Díaz, M.T.E. (eds.). La Ganadería en América Latina y el Caribe: Alternativas para la Producción Competitiva, Sustentable e Incluyente de Alimentos de Origen Animal. Biblioteca Básica de Agricultura. Editorial Colegio de Postgraduados, México. pp. 375-387.
- Rojas, F.P. 2001. Las hormigas del suelo en México: Diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). Acta Zoológica Mexicana (n.s.) 1: 189-238.  
[http://www.antwiki.org/wiki/images/archive/6/6b/20141010182926%21Rojas\\_Fernandez\\_2001.pdf](http://www.antwiki.org/wiki/images/archive/6/6b/20141010182926%21Rojas_Fernandez_2001.pdf)
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018a. Anuario Estadístico de la Producción Pecuaria, año 2002. SAGARPA. México  
[http://infosiap.siap.gob.mx/apecuaria\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/apecuaria_siap_gb/icultivo/index.jsp) Consultado: 04 de abril de 2018.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018b. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, año 2002. SAGARPA. México  
[http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp) Consultado 04 de abril de 2018.
- Silva, R., Tomazi, M., Pezarico, C.R., Aquino, A.M., Mercante, F.M. 2007. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira 42: 865-871.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600014>
- Stechauner, R.R., Madriñán, M.R. 2013. Interacción macrofauna-microbiota: Efectos de la transformación de residuos de cosecha sobre la actividad de  $\beta$ -glucosidasa edáfica. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 11: 184-195.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a22.pdf>
- Tapia-Coral, S., Teixeira, L.A., Velásquez, E., Waldez, F. 2016. Macroinvertebrados del suelo y sus aportes a los servicios ecosistémicos, una visión de su importancia y comportamiento. Revista Colombiana de Ciencia Animal 8(Supl): 260-267.  
<https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/viewFile/380/422>
- Triplehorn, C.A., Johnson, N.F. 2005. Borror and Delong's Introduction to the Study of Insects. Reimpresión 2005. 7th Edition. Thomson Brooks/Cole. USA. 864 P.
- Zerbino, M.S., Altier, N., Morón, A., Rodríguez, C. 2008. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. Agrociencia 12: 44-55.  
<http://www.fagro.edu.uy/~agrociencia/index.php/directorio/article/view/177/117>