

Diversidad y distribución de la macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de *Moringa oleifera* (Lam.): relación con las propiedades del suelo

Diversity and distribution of edaphic macrofauna in two management systems of *Moringa oleifera* (Lam.): Relationship with soil properties

Alvaro Noguera-Talavera¹, Nadir Reyes-Sánchez², Bryan Mendieta-Araica²

¹Docente Investigador, Facultad de Recursos Naturales y Ambiente / ²Docentes Investigadores, Facultad de Ciencia Animal. Para correspondencia: Alvaro.noguera@ci.una.edu.ni



RESUMEN

Con el objetivo de determinar la relación entre diversidad y distribución vertical de la macrofauna edáfica, y propiedades físico-químicas del suelo, se llevó a cabo un estudio en predios de la Universidad Nacional Agraria. Los ensayos tuvieron una duración de 9 meses, en los que se implementaron prácticas de manejo agroecológico, y manejo convencional en ocho unidades experimentales con dimensiones de 15 m x 30 m, seleccionadas de manera aleatoria. La metodología de muestreo fue la desarrollada por el Programa Internacional Biología y Fertilidad del Suelo Tropical. Fueron levantados 12 monolitos de 25 cm x 25 cm por práctica de manejo, a una profundidad de 30 centímetros. Se realizó identificación taxonómica a nivel de Phylum, clase, orden y familia; así como de grupos funcionales detritívoros, ingenieros del suelo, herbívoros y depredadores. Fue registrada mayor densidad de macrofauna en el sistema de conversión agroecológica (7424 ind/m²) en comparación al sistema de manejo convencional (1984 ind/m²), con alta concentración de individuos (7488 ind/m²) en los primeros 20 centímetros del perfil; y densidad proporcional del 56.2% en la profundidad 0 a 10 centímetros. Taxonómicamente se determinó dominancia de la clase Insecta en ambos sistemas de manejo. La distribución de familias de la macrofauna edáfica fue diferente entre sistemas, con evidente influencia del rol por profundidad de muestreo. El grupo funcional ingenieros del suelo predominó en conversión agroecológica; mientras los detritívoros lo hicieron en manejo convencional. Fue determinada la influencia de la calidad de micro hábitat en las propiedades físico-químicas del suelo con el componente biológico; demostrándose efecto de las prácticas de manejo sobre la densidad, diversidad y distribución de la macrofauna edáfica.

Palabras clave: Macrofauna edáfica, Conversión agroecológicas, Funcionalidad, Propiedades de suelo

ABSTRACT

With the aim to determine the relation between diversity and distribution of edaphic macrofauna and soil properties, a study was performed at National Agrarian University farm. International Program for Biology and Fertility of Tropical Soil sampling methodology was used. A taxonomical classification was done at phylum, class, order and family level as well functional groups such as detritivores, soil engineers, herbivores and predators. A highest density of macrofauna was registered on agroecological conversion system (7424 ind/m²) in comparison with conventional management system (1984 ind/m²), with major individual concentration (7488 ind/m²) on the first 20 centimeters of the soil; and population density of 56.2% in 0 to 10 centimeters strata. The number of taxa show dominance of Insecta at both management systems. About family taxa, the edaphic macrofauna distribution was different between systems with influence of the functionality in each soil strata. The soil engineer group was the dominant on agroecological conversion system; while detritivorous group was dominant in conventional system. Was determined the influence of habitat over physical and chemical soil properties, and the biological populations; founding effect of management over the density, diversity and distribution of the edaphic macrofauna.

Keywords: Edaphic macrofauna, Agroecological conversion, Functionality, Soil properties

Recibido: 29 de mayo 2017
Aceptado: 7 de agosto del 2017



Copyright 2017. Universidad Nacional Agraria

Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo freddy.aleman@ci.una.edu.ni

La agricultura convencional ha sido contextualizada en diversos estudios (Altieri y Nicholls, 2012; Nieto et al., 2013; Altieri et al., 2015; Hatt et al., 2016) como factor causante de la actual crisis ambiental, que provoca baja sostenibilidad de la agricultura (Gliessman, 2013), degradación del suelo, pérdida de biodiversidad por simplificación de los ecosistemas (Hatt et al., 2016; Altieri et al., 2017), y alteración del ciclo hidrológico, además de la contaminación de aguas subterráneas y superficiales (Durán y Suárez, 2013).

Mantener la calidad de los suelos y la productividad de los cultivos es un desafío importante para la agricultura moderna. Prácticas de manejo agroecológico que tienden a incrementar el contenido de carbono del suelo y a la vez favorecer la supervivencia y actividad microbiana pueden contribuir a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas (Ferrerías et al., 2015); efectos que pueden ser evaluados a través de la composición y funcionalidad de las propiedades biológicas del suelo, entre la que destaca la macrofauna, por la facilidad de colectarla.

La macrofauna edáfica agrupa a los invertebrados mayores de 2 mm de diámetro (Cabrera, 2012), los que presentan características eco fisiológicas que permiten ser utilizada como indicadores de monitoreo y diagnóstico de intensidad de uso del suelo (Díaz et al., 2014), estado de conservación o perturbación y, salud (Cabrera, 2012; Vieira Da Cunha, 2012); así como del efecto en el tiempo de prácticas productivas (Soccorras e Izquierdo, 2014; Gómez et al., 2016).

Como elemento técnico con enfoque agroecológico en la promoción de *Moringa oleifera* Lam., como especie con múltiples usos, a nivel de sistemas productivos intensivos, en contraposición a los sistemas con alta demanda de insumos; se identificó la necesidad de estudiar las ventajas que implica que en sistemas de cultivos diversificados y con bajos insumos; se pueden obtener servicios asociados a la recuperación y salud del suelo por medio del incremento y manejo de la diversidad funcional de la macrofauna edáfica. Fue en el contexto de la utilización de bioindicadores del efecto de prácticas de manejo en sistemas productivos de *Moringa oleifera* Lam., que se planteó como objetivo analizar la relación entre diversidad, distribución de la macrofauna, y propiedades físico-químicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características edafológicas y climatológicas de la zona, o lugar de los experimentos. El trabajo fue realizado entre Junio del 2013 y Marzo del 2014, en la unidad experimental Santa Rosa de la Universidad Nacional Agraria, localizada geográficamente en Managua, en las coordenadas 12o09'30.65"N, 86o10'06.32"W (Mendieta-Araica, 2011), a una altitud de 50 msnm.

La precipitación y temperatura media anual históricas registradas son 1099 mm y 27o C respectivamente, y humedad relativa de 74% (INETER, 2015); predominando dos estaciones definidas por una época seca que va desde Noviembre a Abril, y una época lluviosa de Mayo a Octubre.

En el año 2013 la precipitación anual en el área fue de 1070.4 mm, menor en comparación a la media histórica, siendo Junio (285.3 mm) y Septiembre (330.2 mm), (figura 1) los de mayor precipitación (INETER, 2015).

El suelo pertenece al orden taxonómico Andisol, y clase textural Franco Arcilloso –Arenoso; y buen drenaje (Mendieta-Araica, 2011).

Procedimiento experimental

Duración de los ensayos. Los ensayos tuvieron una duración de nueve meses, con fecha de establecimiento junio 2013, y cosecha en marzo 2014, tiempo durante el cual se aplicaron prácticas de manejo agroecológico y de agricultura convencional según la planificación y enfoque de cada sistema.

El área con manejo agroecológico correspondió a un lote de 1 hectárea, y el agroecosistema con manejo convencional consistió en un área de plantación, con una extensión de 5 hectáreas; utilizándose, en ambos casos, un área efectiva de muestreo de 0.18 hectáreas. En cada sistema fueron delimitadas cuatro unidades de muestreo de forma rectangular (15m x 30m). El método definido para muestrear la macrofauna edáfica fue sistemático con monolitos separados 15 m entre sí, distribuidos en transecto diagonal dentro de las unidades de muestreo.

Vegetación colindante a los sistemas de manejo

Conversión agroecológica. La biota complementaria al agrosistema estuvo compuesta por cercas vivas con especies arbóreas como *Eucalyptus camaldulensis* (Dehnh.), *Azadirachta indica* (A. Juss), *Cordia dentata* (Poir.), *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth., *Albizia saman* (Jacq.) Muell.), y *Stemmadenia obovata* (Hook. & Arn.) K. Shum.); mientras los lotes circundantes corresponden a uso de suelo agrícola con *Moringa oleifera* (Lam.) y *Sorghum bicolor* (L.).

Manejo convencional. La biota complementaria al agrosistema estuvo constituida por cercas vivas con especies arbóreas como *Neem Azadirachta indica* (A. Juss), *Spondias sp.*, y *Albizia saman* (Jacq.) Muell.); mientras los lotes circundantes corresponden a producción de pasturas como CT-15 y *Cynodon nlemfuensis* (Vanderryst.); además de cultivos como *Saccharum officinarum* (L.), *Moringa oleifera* (Lam.) y *Sorghum bicolor* (L.).

Diseño experimental. El diseño consistió en unidades experimentales de forma rectangular, seleccionadas de manera aleatoria (DCA). Cada unidad con plantas establecidas a distanciamiento 3m x 3m, en arreglo lineal.

Tratamientos. Tratamiento 1: Manejo convencional, el que consistió en área de monocultivo de moringa, con actividades de preparación mecanizada del suelo, control mecanizado y químico de arvenses; fertilización inorgánica, y riego. El lote que correspondió a este tratamiento tiene una historia de uso de pastura permanente de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). Tratamiento 2: Conversión agroecológica, cuyo enfoque fue el establecimiento de un sistema de policultivo a partir del sistema convencional, labranza mínima en la preparación del suelo, rotación de leguminosas, fertilización orgánica con

compost, incorporación de abonos verdes, sin riego y, control de arvenses con cobertura de leguminosas. El lote que correspondió a este tratamiento tiene una historia de uso de barbecho forestal o tacotal.

Evaluaciones y mediciones. Se realizó colectas de macrofauna edáfica antes de la cosecha o explotación de los sistemas. El periodo de colecta fue entre diciembre 2013 y enero del 2014, al finalizar la época lluviosa; definido a partir de los criterios propuestos por Cabrera *et al.*, (2011).

Para la colecta se utilizó la metodología propuesta por el Programa Internacional “Biología y Fertilidad del Suelo Tropical” (Lavelle *et al.*, 2003), y validada por Zerbino, (2010). De cada sistema de manejo se extrajeron 12 monolitos de suelo de 25 x 25 cm, hasta una profundidad de 30 centímetros; siendo los estratos: Hojarasca, 0 a 10 cm, 10 a 20 cm y 20 a 30 cm.

Los especímenes colectados fueron depositados en viales con alcohol al 70% y luego identificados a nivel de clase, y familia por profundidad de muestreo, mediante el uso de claves desarrolladas por Roldan, (1988); Castner, (2000); y Marshall, (2008), en el laboratorio de Biología de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente.

La macrofauna fue clasificada en detritívoros, herbívoros, ingenieros del suelo y depredadores según los grupos funcionales propuestos por Cabrera *et al.*, (2011). Los resultados se basan en la densidad (individuos por m²) de cada taxón, y grupo funcional identificado; y diversidad por sistema de manejo y profundidad de muestreo; mientras la diversidad, y composición a nivel de familia fue analizada como indicador relacionado a la salud del suelo según Rendón *et al.*, (2011) y, la interacción con el cultivo moringa.

Cuadro 1. Propiedades químicas y físicas del suelo por profundidad de muestreo en dos sistemas de manejo de *M. oleifera* Lam

Propiedades físico-químicas	Conversión agroecológica			Manejo convencional		
	0 -10 cm	10 -20 cm	20-30 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
C.O (%)	2.04	1.68	1.70	1.71	1.29	1.25
pH	7.11	7.06	7.0	7.77	7.13	7.15
N (%)	0.18	0.14	0.12	0.15	0.11	0.10
CIC (me/100 g suelo)	28.05	27.10	26.80	27.67	26.81	26.35
H (%)	7.09	14.99	18.62	25.16	14.72	17.15
M.O (%)	3.51	2.89	2.36	2.94	2.22	1.86
P-disponible (ppm)	44.69	32.25	34.62	23.11	17.24	13.65
K-disponible (me/100 g suelo)	2.46	2.48	2.34	2.0	1.18	1.24

pH: Relación agua-suelo 1:2.5, Hester, (1930) en A.O.A.C, (1980). M.O: Combustión húmeda de Walkey y Black, (1934), en A.O.A.C, (1980). N: Kjendalh, (1883) en A.O.A.C, (1980). P: OLSEN, (1954) en A.O.A.C, (1980). Humedad%: Método gravimétrico en A.O.A.C, (1980). C.O: Combustión húmeda de Walkey y Black, (1934), en A.O.A.C, (1980).

Del conjunto de monolitos se colectó dos muestras compuestas de 2 kilogramos de suelo, para determinar propiedades químicas y físicas en el Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA) de la Universidad Nacional Agraria (Cuadro 1).

Procesamiento estadístico. La estadística no paramétrica (Prueba de Kruskal-Wallis) fue empleada para determinar diferencias en la variación de la densidad por taxón, grupo funcional por sistema de manejo y profundidad de muestreo. Como parte de la diversidad de la macrofauna, a nivel de sistema de manejo para los taxones clases y ordenes, se determinó el índice de dominancia de la comunidad (D) mediante el método propuesto por Turner y Garner, (1991) con comparaciones de “t” student en el programa PAST versión 1.29 (Hammer y Harper, 2004).

Un análisis de conglomerados para determinar la probabilidad de similitud de familias por sistema de manejo y profundidad de muestreo fue realizado determinándose el índice de Jaccard a partir del método propuesto en Moreno, (2001). Este índice expresa el grado en que dos o más muestras son semejantes en los niveles taxonómicos presentes en ellas, utilizándose en este trabajo para el nivel de familia. Análisis de componentes principales (ACP) fue realizado para determinar la asociación entre la diversidad y densidad de la macrofauna con las propiedades físico-química del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad de organismos de la macrofauna edáfica por profundidad y sistemas de manejo. Fue registrada una densidad total de 9408 individuos de la macrofauna edáfica.

La mayor densidad acumulada de organismos fue registrada en los primeros 20 centímetros del suelo (7488 ind/m²); con alta concentración en la profundidad 0 a 10 cm (5296 ind/m²); y densidad similar entre hojarasca con la profundidad 20 a 30 centímetros (figura 1).

Diferencia estadísticamente significativa (p<0.05) fue registrada en la densidad de organismos entre la profundidad 0 a 10 cm respecto a las demás.

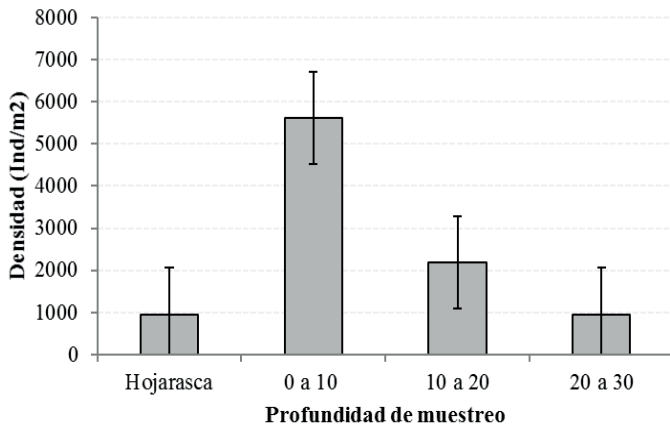


Figura 1. Densidad de macrofauna edáfica por profundidad de muestreo en sistemas productivos de *M. oleifera* en la Universidad Nacional Agraria.

Aratat *et al.*, (2002), reportaron como patrón en la distribución de la macrofauna del suelo, alta densidad de organismos en los primeros 10 centímetros de profundidad, con acumulación hasta de un 80.2% en relación a la densidad total, proporción que en el actual estudio correspondió a 56.2%, mientras Fernández *et al.*, (2015) reportaron altas densidades en la profundidad 10 a 20 centímetros, y a diferencia de este estudio, notable similitud en la densidad de macrofauna edáfica, con la de la hojarasca.

Ararat *et al.*, (2002) y Fernández *et al.*, (2015), relacionaron la alta concentración de organismos en los primeros centímetros del perfil de suelo con la utilización de cultivo de cobertura de leguminosas (en este caso canavalia, gandul, caupi), que induce una disminución en la intensidad de luz y del impacto de las gotas de lluvia; además de la reducción en la temperatura del suelo; e implica procesos biológicos de éste como son: retención de humedad, aireación, mantenimiento de la biodiversidad funcional y eficiencia del ciclo de nutrientes, provocada según Duval *et al.*, (2014) por el incremento gradual de compuestos asociados a la fracción mineral, y por tanto una fracción más transformada de carbono o materia orgánica lábil.

Padoa *et al.*, (2012) determinaron que la alta concentración de organismos de la macrofauna es producto que este horizonte es una interface entre el lito y el dominio de suelo funcional.

Por su parte, Vega *et al.*, (2014), reportaron las mayores densidades a nivel de la hojarasca, y al igual que en este trabajo, notable reducción de la densidad en la profundidad 20 a 30 centímetros. En dicho trabajo, se identificó como factores causales la concentración de biomasa de leguminosas que implicó incremento en los recursos tróficos, microhábitats e interacciones funcionales.

En el sistema conversión agroecológica fue registrada mayor densidad de macrofauna edáfica (7424 ind/m²),

en comparación a manejo convencional (1984 ind/m²), resultado que coincide con el reportado por Matienzo *et al.*, (2015), quienes lo atribuyen al grado de complejidad del sistema, expresado en la diversificación y prácticas de manejo; enfatizando, además en la importancia de los ambientes seminaturales persistentes en la circundancia de los sistemas.

La densidad de macrofauna por sistema de manejo mostró el mismo resultado de alta concentración en los primeros 10 centímetros, mientras se determinó diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en la densidad entre sistemas; así como en la densidad de macrofauna en las profundidades 0 a 10 y 10 a 20 en ambos sistemas de manejo ($p < 0.05$).

En el sistema bajo conversión agroecológica se registró la mayor densidad en todas las profundidades de muestreo (figura 2).

Desde el punto de vista taxonómico se identificó asociación entre la profundidad y la riqueza de clases de la macrofauna, registrándose igual número (8) en las profundi-

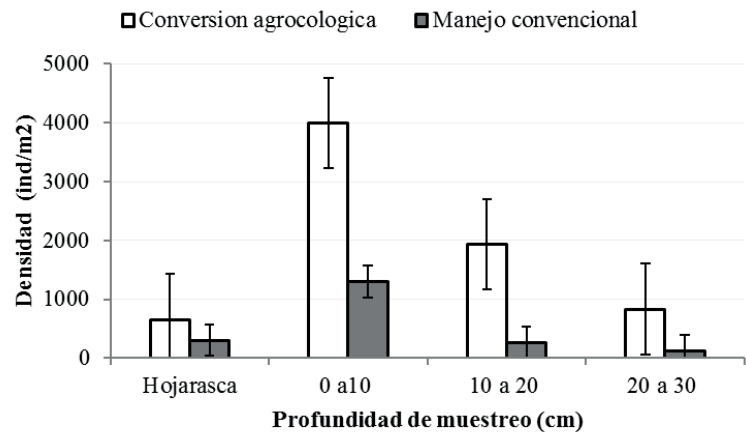


Figura 2. Densidad de macrofauna edáfica por profundidad de muestreo en sistemas productivos de *M. oleifera* en la Universidad Nacional Agraria.

dades 10 cm y 20 cm, lo que significó más diversidad, densidad y mejor distribución de la macrofauna que la reportada a nivel de hojarasca y 30 centímetros (5 clases).

El mayor número de clases de la macrofauna fue registrado en conversión agroecológica (5), en comparación al sistema de manejo convencional (3); con dominancia por alta densidad de la clase Insecta en ambos sistemas de manejo (cuadro 2).

Los resultados relacionados a la profundidad de muestreo confirman la relación con la composición y densidad de la macrofauna en ambos sistemas de manejo; registrándose diferencias significativas ($p < 0.05$).

A nivel de familia, las pertenecientes a la clase Insecta reportaron valores altos de densidad en ambos sistemas de manejo (cuadro 2). Leptoceridae fue la familia más dominante en manejo convencional por la densidad que registró (1212 ind/m²), mientras en conversión agroecológica Termitidae (3660 ind/m²), Formicidae (816 ind/m²) y Escarabaeidae (576 ind/m²) fueron las familias con mayor densidad (cuadro 2).

RECURSOS NATURALES

Cuadro 2. Diversidad taxonómica (clase y familia) y, densidad (ind/m²) por profundidad y sistema de manejo de *M. oleifera* en la Universidad Nacional Agraria

Sistemas de manejo/Clases identificadas	Familias	Profundidad de muestreo (cm)			Densidad Total (Ind/m ²)	
		Hojarasca	0 a 10	10 a 20		20 a 30
Manejo convencional						
Arachnida	Salticidae	192	160	112	48	512
Chilopoda	Scolopendridae	NR	32	16	NR	48
Insecta	Hydropsychidae	NR	240	16	16	272
	Leptoceridae	92	992	64	64	1212
Índice de dominancia de la comunidad (D)		0.55	0.76	0.44	0.53	
Conversión agroecológica						
Diplopoda	Julidae	NR	16	80	NR	96
Gastropoda	Physidae	NR	NR	16	NR	16
	Planorbidae	NR	16	NR	NR	16
	Thiaridae	96	208	48	NR	352
	Hydrobiidae	16	304	96	32	448
Insecta	Elmidae	64	64	32	16	176
	Chrysomelidae	16	NR	NR	NR	16
	Curculionidae	NR	NR	NR	16	16
	Dermestidae	NR	NR	16	NR	16
	Escarabaeidae	NR	288	96	192	576
	Hydrophilidae	16	NR	NR	NR	16
	Ptilodactylidae	NR	432	16	NR	448
	Drosophilidae	16	NR	NR	NR	16
	Noctuidae	NR	16	NR	NR	16
	Formicidae	144	304	240	128	816
	Vespidae	32	NR	NR	NR	32
Termitidae	64	2190	1198	208	3660	
Malacostraca	Armadillidiidae	192	112	80	48	432
Oligochaeta	Lumbricidae	NR	128	32	192	352
Índice de dominancia de la comunidad (D)		0.36	0.66	0.67	0.55	

NR: No Registrado. Ind: Individuos.

Familias no pertenecientes a la clase Insecta y que registraron importante presencia en los sistemas fueron: Salticidae (512 ind/m²) en manejo convencional, y Armadillidiidae (432 ind/m²) y Lumbricidae (352 ind/m²) en conversión agroecológica. La densidad registrada para Lumbricidae fue inferior a reportes realizados por Ararat *et al.* (2002), Duran y Suarez, (2013), y Fernández *et al.*, (2015) determinándose baja densidad de este grupo, que según Ararat *et al.*, (2002) tiene como funciones primordiales la formación de macroagregados, transformación de sustancias orgánicas e inorgánicas, mejoramiento de las tasas de infiltración dentro del perfil del suelo, aireación, entre otras.

La presencia de clases por profundidad mostró una notable equitatividad entre sistemas de manejo; con excepción de Oligochaeta y Diplopoda en conversión agroecológica; y Chilopoda, en manejo convencional, provocada la ausencia de representantes de dichas clases por la especificidad ambiental de distribución en el perfil del suelo (Masin *et al.*, 2015), carencia de hábitats aptos; ya que para Oligochaeta la distribución está asociada a alto contenido de humedad y bajo grado de compactación del suelo (Fernandez *et al.*, 2015; Masin *et al.*, 2015). Para ambos sistemas de manejo, la compactación del suelo fue asumida como factor limitante, por la historia de uso que refiere principalmente ganadería.

La presencia de familias por profundidad, al igual que para el nivel taxonómico clases, permiten identificar atributos como adaptación, especificidad de hábitat, y su relación con la estructura y procesos biológicos de la calidad del suelo; por ejemplo, Termitidae estuvo presente desde la hojarasca hasta los 30 centímetros de profundidad, lo que indica alto grado de adaptación a diferentes ambientes y hábitos alimenticios (Sermeño-Chicas, 2013) por ser especie pionera, asociada a raíces y tallos de *M. oleifera* durante fases no adultas de la planta, y formadores de colonias sobre ramas de árboles en la fase adulta del árbol (Palada y Chang, 2003); y transformadores de la estructura del suelo a través de la formación de bioestructuras (Da Cunha y Brandao, 2000; Sermeño-Chicas, 2013).

Formicidae presenta alta adaptación a variedad de ambientes (Castro *et al.*, 2008; Gutiérrez-Rodríguez, 2014), alta reproducción, for-

madores de colonias, depredadores y transformadores de la estructura del suelo al mover (traslocar) grandes cantidades de detrito a estratos inferiores del suelo (Castro *et al.*, 2008), por lo que, de acuerdo con Fernández *et al.*, (2015), pueden estar presente en diferentes profundidades del perfil del suelo.

Otras familias con presencia en todos los estratos del suelo hasta los 30 centímetros fueron: Hydrobiida en manejo convencional y, Elmidae y Armadillidiidae en conversión agroecológica (cuadro 2), los que biológicamente indican notable concentración de materia orgánica en descomposición.

Diversidad de la macrofauna en los sistemas estudiados.

Al comparar la diversidad de la macrofauna edáfica entre sistemas de manejo, se registró menor dominancia de familias en conversión agroecológica, en todas las profundidades.

En manejo convencional, la diversidad basada en el índice de dominancia de la comunidad registró alto valor (D=0.76) en la profundidad 0 a 10 cm debido a la densidad de las familias Leptoceridae, Salticidae e Hydropsychidae; cuantificando menor dominancia en la profundidad 0 a 20 cm, producto de densidades más equitativas en las familias que se registró.

En conversión agroecológica, la dominancia estuvo concentrada en las profundidades 0 a 10 cm ($D=0.66$) y 10 a 20 cm ($D=0.67$), estando este parámetro en función de la densidad o dominancia de la familia Termitidae (cuadro 2).

La menor dominancia de familias por profundidad de muestreo se dió en hojarasca en ambos sistemas de manejo; con ventaja a favor de alta diversidad y funcionalidad de organismos en el sistema en conversión agroecológica ($D=0.36$), en comparación a manejo convencional ($D=0.55$).

Los resultados a nivel de densidad y diversidad, mostraron lo que se presenta en la figura 3, en cuanto a la similitud de familias por profundidad, la que confirma un ensamblaje de funciones en el perfil del suelo.

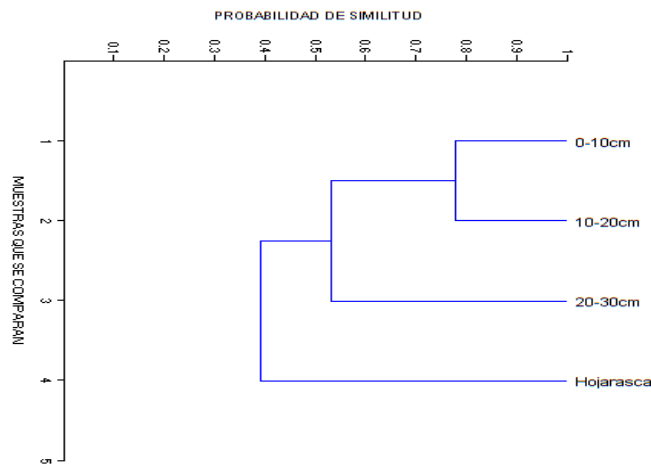


Figura 3. Similitud en la composición de familias de macrofauna por profundidad de muestreo.

La similitud de familias entre profundidades de muestreo registró su valor más alto ($J=0.78$) en 0 a 10 y 10 a 20 cm, lo cual indica una notable igualdad en la composición a nivel de este taxón entre ambas profundidades.

El valor de la similitud entre profundidades mostró una reducción de 26% entre los primeros 20 cm del suelo, en comparación con la profundidad 20 a 30 cm. Dicho indicador registró la mayor reducción (40%) al comparar las profundidades 0 a 30 cm con la composición de familias registradas en la hojarasca. La reducción en la similitud de familias entre profundidades fue asumida según lo expuesto por Vega *et al.*, (2014) quienes identificaron diferencias en microhabitats, niveles de descomposición de la biomasa y, por tanto, disponibilidad de materia orgánica, humedad, temperatura, especialización de las especies a ciertos hábitats, y procesos ecológicos propios de cada profundidad en el perfil de suelo.

Grupos funcionales por profundidad. Los grupos funcionales de la macrofauna edáfica y su distribución en el perfil del suelo, fueron elementos diferenciadores entre los sistemas

de manejo, identificando mayor funcionalidad a favor de cambios en la estructura y composición del suelo en el sistema de conversión agroecológica, en el que se registró una alta proporción de organismos clasificados como ingenieros del suelo, que dominaron (proporción mayor al 50% de la densidad total) en los 30 centímetros de profundidad de los monolitos (cuadro 3).

Entre el grupo funcional ingenieros del suelo, sobresalieron Termitidae y Formicidae con 48.3% y 10.7% respectivamente, de la densidad total de organismos en conversión agroecológica. Otro representante de este grupo funcional como Lumbricidae (4.7%), registró valores bajos en comparación al trabajo de Duran y Suarez, (2013), quienes reportaron la dominancia de miembros de Lumbricidae en una proporción de 78.5% de todos los individuos pertenecientes al grupo funcional ingenieros del suelo.

En conversión agroecológica, la dominancia proporcional de detritívoros (68.0%) en hojarasca estuvo relacionada a la biomasa de cultivos de cobertura en la superficie del suelo, cuyo propósito fue brindar cobertura para retención de humedad, contribuir a la fertilidad, y controlar la densidad de arvenses; demostrando con este resultado que la incorporación de cobertura al suelo contribuye a incrementar la presencia de grupos de organismos que aportan a los cambios en las propiedades del suelo.

Las familias más representativas del grupo detritívoros fueron: Hydrobiidae, Ptilodactylidae ambos con 6.03%, Armadillidiidae con 5.8% y Thiaridae con 4.7%. La distribución de familias en el perfil del suelo fue diferente, con la presencia de Ptilodactylidae únicamente de 0 hasta 20 cm, Thiaridae, con presencia tanto en la hojarasca hasta 20 cm, y Armadillidiidae, e Hydrobiidae en todo el perfil caracterizado (cuadro 2).

La presencia de herbívoros desde 0 a 30 centímetros estuvo caracterizada por un lado por la existencia en estado larvario de organismos plaga de raíces, representantes de la familia Escarabaeidae (Aragón *et al.*, 2005), que con base en lo reportado por Ararat *et al.* (2002) puede ser útil como indicador de acumulación de detritos y materia orgánica en descomposición por su condición de saprófito; asociado además, a la implementación de labranza mínima en la preparación de suelo, y manejo de cobertura de residuos de cosecha.

En el sistema de manejo convencional tanto en la hojarasca, como en las profundidades hasta los 30 centímetros, se registró dominio de los grupos detritívoros y depredadores en una alternancia entre profundidades (cuadro 3).

En relación a los detritívoros, la familia dominante fue Leptoceridae con 94% de la densidad de detritívoros y, 60.4% de la densidad total de organismos en dicho sistema de manejo; mientras que el grupo funcional depredadores estuvo representado únicamente por la familia Salticidae en una proporción de 91% de la densidad del grupo y 23.3% de la densidad total de macrofauna edáfica en el sistema.

Cuadro 3. Distribución de grupos funcionales de la macrofauna edáfica por profundidad de muestreo en dos sistemas de manejo de *M. oleifera*

Sistemas de manejo	Profundidad de muestreo (cm)							
	Hojarasca	%	0 a 10	%	10 a 20	%	20 a 30	%
Conversión agroecológica	Detritivoro	68.0	Ingeniero del suelo	63.6	Ingeniero del suelo	75.0	Ingeniero del suelo	64.7
	Ingeniero del suelo	32.0	Herbivoro	28.2	Detritivoro	20.0	Herbivoro	23.5
			Detritivoro	8.2	Herbivoro	5.0	Detritivoro	11.8
Convencional	Depredador	70.6	Detritivoro	87.5	Depredador	54.5	Detritivoro	62.5
	Detritivoro	29.4	Depredador	12.5	Detritivoro	45.5	Depredador	37.5

Asociación entre macrofauna edáfica y propiedades del suelo. La determinación de asociación entre variables edáficas y macrofauna del suelo a partir del análisis de componentes principales presentó una alta confiabilidad al explicar en los dos ejes de la componente principal 97.6% de la variabilidad acumulada correspondiente a la densidad de individuos por sistema de manejo (figuras 5 y 6).

El primer eje explicó el 79.6% de la varianza total y separó a los sistemas, ubicando el sistema conversión agroecológica a la derecha, en función de mayor asociación y complementariedad entre las variables edáficas; y, por tanto, mejor calidad de hábitat para la presencia, densidad y diversidad de la macrofauna (figura 4). El segundo eje, ubicado en la parte superior izquierda representó al sistema de manejo convencional y explicó el 18% de la varianza total e identificó el pH y el porcentaje de humedad con el hábitat asociado a los grupos de macrofauna edáfica registrados.

Las variables edáficas relacionadas a la presencia de macrofauna presentaron mayor asociación en conversión agroecológica (figura 4). Las propiedades con mayor grado de asociación entre sí fueron el porcentaje de Nitrógeno y Materia orgánica, Capacidad de intercambio catiónico y Carbono orgánico; sin embargo, las variables respuesta asociadas a la presencia de macrofauna fueron contenido

de carbono orgánico, fósforo y potasio disponible, y porcentaje de humedad, lo que permitió determinar un notable dinamismo en el ciclo, disponibilidad y flujo de nutrientes en conversión agroecológica.

En manejo convencional las variables respuesta fueron el pH y el porcentaje de humedad del suelo, determinándose baja relación entre sí. Los grupos de mayor representación de la

macrofauna edáfica en este sistema tuvieron alta asociación con el porcentaje de humedad del suelo.

Fue determinada asociación entre las familias más representativas de la macrofauna y las variables edáficas, siendo la excepción la familia Salticidae cuyo nicho está circunscrito al estrato superficial del suelo, y Curculionidea; explicando de esta manera la influencia del manejo de los sistemas sobre grupos específicos y las características biológicas del suelo.

La presencia de las familias Formicidae, Termitidae, y Escarabaeidae, pertenecientes al grupo funcional ingenieros del suelo, estuvo asociada a la disponibilidad de fósforo y potasio.

Las familias Armadillidiidae, y Lumbricidae, también incluidas dentro del grupo ingenieros del suelo presentaron asociación con el porcentaje de humedad del suelo; al igual que organismos de la familia Julidae, que ejercen el rol de detritivoro, y cuya importancia radica en consumir hojas de bajo valor nutritivo y excretarlas transformadas (fragmentadas), facilitando el consumo para otros organismos de la macrofauna edáfica (Chávez *et al.*, 2016), incrementado la materia en descomposición en el agroecosistema.

Padoa *et al.*, (2012) determinó asociación entre la abundancia biológica de la familia Julidae y la relación Carbono/Nitrógeno en seis arreglos de cultivos que tuvieron como prácticas la no labranza, el uso de gandul como cobertura y rotaciones, prácticas comunes al sistema de conversión agroecológica y por tanto que refleja la relación entre las prácticas de agricultura sostenible y la calidad biológica del suelo.

Para el caso de Lumbricidae, las variables respuesta asociada a la presencia difiere del trabajo realizado por Masin *et al.*, (2015) en donde se determinó asociación con la materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno total y el pH; diferencia dependiente del hábito epigeo o endógeno de las especies de dicha familia. Padoa *et al.*, (2012) por su parte determinaron asociación entre la abundancia y el nitrógeno contenido a los 10 centímetros de profundidad.

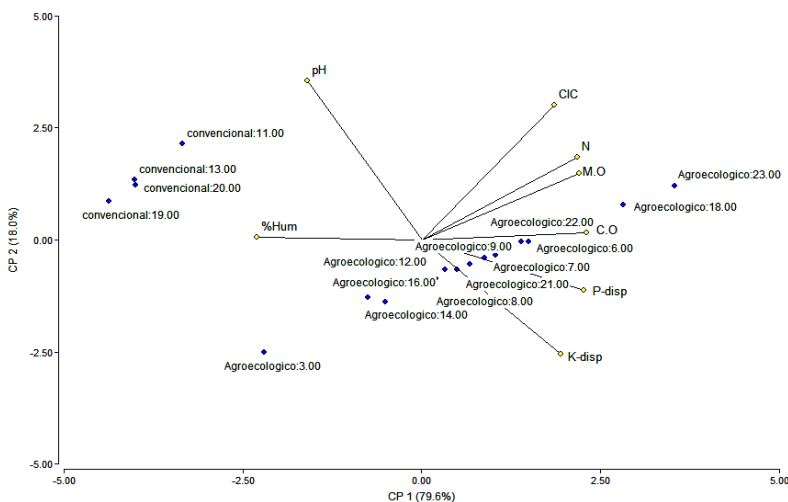


Figura 4. Diagrama de asociación de variables de suelo determinantes de la presencia de macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de *M. oleifera* en la Universidad Nacional Agraria.

RECURSOS NATURALES

Castro *et al.*, (2008) determinaron que especies de la familia Formicidae al transportar restos vegetales y animales hacia el interior del suelo concentran en sus nidos, y alrededor altos niveles de fósforo lo que permite explicar la asociación entre este elemento y la densidad de hormigas cuantificadas en el sistema conversión agroecológica.

Complementariamente, Castro *et al.*, (2008) encontraron relación entre la distribución de Formicidae y la humedad, comprobando que bajos valores de humedad incrementan la densidad y diversidad; lo que permite adicionar

otro elemento a la explicación de la presencia de Formicidae en todo el perfil muestreado, debido a que el bajo porcentaje de humedad registrada (Cuadro 1), el que fue menor al 30% durante el periodo de evaluación generó un hábitat propicio para este grupo.

Fernández *et al.*, (2015) evidenció la asociación existente entre la variable humedad y pH con la riqueza y densidad de especies de la macrofauna edáfica, por lo que se puede explicar a través de esto la presencia de las familias Scolopendridae y Leptoceridae las que presentaron asociación con el porcentaje de humedad del suelo; por el contrario, la presencia de Hydropsychidae estuvo asociada a la variable pH.

CONCLUSIONES

Las prácticas asociadas al manejo de los sistemas productivos de *M. oleifera* tuvieron efecto sobre la distribución y diversidad de la macrofauna edáfica.

Se determinó mayor complementariedad entre la distribución y diversidad de la macrofauna edáfica y las variables químicas en el sistema de conversión agroecológica.

Existe reciprocidad entre el tipo de práctica relativa al manejo del cultivo de moringa con las propiedades físico-químicas del suelo y; por tanto, influencia en la densidad y funcionalidad de los organismos de la macrofauna edáfica.

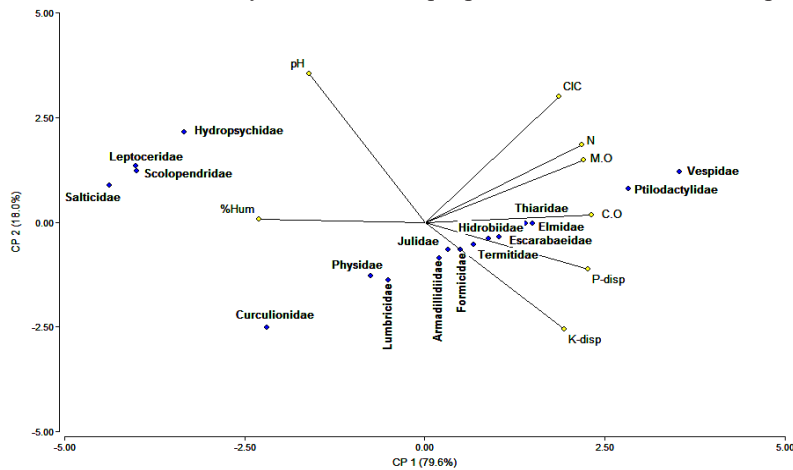


Figura 5. Diagrama de distribución de las familias más importantes de la macrofauna edáfica en los componentes principales (CP1 y CP2) a partir de variables de suelo en dos sistemas de manejo de *M. oleifera* en la Universidad Nacional Agraria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altieri, MA; Nicholls, CI. 2012. Agroecology scaling up for food sovereignty and resiliency. *Sustainable Agriculture Reviews* 11, 1 DOI 10.1007/978-94-007-5449-2_1.

Altieri, MA; Nicholls, CI; Henao, A; Lana, MA. 2015. Agroecology and design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy Sustainable Development*. DOI 10.1007/s13593-015-0285-2.

Altieri, MA; Nicholls, CI; Montalba, R. 2017. Technological approaches to sustainable agricultura at a crossroads: An agroecological perspective. *Sustainability*. 9:(349).

Ararat, MC; Aristizábal, A; Prager-Mosquera, M. 2002. Efecto de cinco manejos agroecológicos de un Andisol (Typic Dystrandep) sobre la macrofauna en el municipio de Piendamó, departamento del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*. 51(34):121-129.

Aragón, GA; Morón, MA; López-Olguín, JF; Cervantes-Peredo, LM. 2005. Ciclo de vida y conducta de adultos de cinco especies de Phyllophaga Harris, 1927 (Coleoptera: Melolonthidae; Melolonthinae). *Acta zoológica Mexicana*. 21(2):87-99.

Cabrera, G.; Robaina, N; Ponce De León, D. 2011. Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y forrajes*. 34(3):331-346

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):349-363

Chávez, SL; Labrada, HY; Álvarez, FA. 2016. Macrofauna del suelo en ecosistemas ganaderos de montaña en Guisa, Granma, Cuba. *Comunicación corta. Pastos y forrajes*. 39(3):111-115.

Castro, DS; Vergara, CC, Arellano, UC. 2008. Distribución de la riqueza, composición taxonómica y grupos funcionales de hormigas del suelo a lo largo de un gradiente altitudinal en el Refugio de Vida Silvestre Laquipampa, Lambayeque-Perú. *Ecología Aplicada*. 7(12):90-103

Castner, J. 2000. *Photographic Atlas of Entomology and Guide to Insect Identification*. Feline Press. Gainesville, Florida. 174 pp.

Da Cunha, HF; Brandao, D. 2000. Invertebrates Associated with the Neotropical Termite *Constrictotermes cyphergaster* (Isoptera: Termitidae, Nasutitermitinae). *Sociobiology*. 37:593-598.

Díaz, PM; Rionda, HM; Duhour, EA; Momo, RF. 2014. Artrópodos del suelo: Relaciones entre la composición faunística y la intensificación agropecuaria. *Ecología Austral*. 24:327-334.

Durán, BE; Suárez, SJ. 2013. Fauna del suelo y hojarasca en arreglos agroforestales de la Amazonia Colombiana. *Momentos en Ciencia*. 10(1):59-66.

- Duval, ME; De Sa Pereira, E; Iglesias, JO; Calantini, JA. 2014. Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones del carbono orgánico en un Arguidol. *Ciencia del suelo*. 32(1):105-115.
- Fernández, TM; Castellanos, GL; Fuentes, GM; Cairo, CP; Rajadel, AN; De Melo, PR. 2015. Macrofauna del suelo en cuatro fincas en conversión hacia una producción agroecológica en el Municipio, Cruces, Cuba. *Centro Agrícola*. 42(1): 43-52.
- Ferreras, L; Toresani, S; Bonel, B; Fernández, E; Bacigaluppo, S; Faggioli, V. 2009. Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del Suelo*. 27(1):103-114.
- Gliessman, SR. 2013. Agroecología: Plantando las raíces de la resistencia. *Agroecología*. 8:19-26.
- Gómez, PF; Godoy, MC; Coronel, JM. 2016. Macrofauna edáfica en ecosistemas y agroecosistemas de la Region Esteros del Iberá (Corrientes, Argentina). *Ciencia del suelo*. 34(1):43-56.
- Hammer, O; Harper, D.A.T. 2004. Paleontologic Statistic (PAST versión 1.29). <http://folk.uio.no/ohammer/past>
- Hatt, S; Artru, S; Brédart, D; Lassois, L; Francis, F; Haubruge, E. 2016. Towards sustainable food systems: the concept of agroecology and how it questions current research practices. A review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*. 20(S1):215-224.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (INETER). 2015. Boletín climático. Managua, Nicaragua. Dirección General de Meteorología.
- Lavelle, P; Senapati, P; Barros, E. 2003. Soil macrofauna. In: *Trees, crops and soil fertility. Concepts and research methods*. (Eds. G. Schroth & F.L.Sinclair). CABI Publishing. UK. p. 303.
- Marshall, S. 2008. 500 insects: a visual reference. Firefly Books Ltd. Ellicott Station Buffalo, New York. USA. 528 pp.
- Masin, EC; Rodríguez, RA; Maitre, IM; Cerana, J; Hernandez, PJ; Anglada, M; Elizalde, HJ; Lallana, MC. 2015. Riqueza de lombrices de tierra en un Arguidol bajo cultivo de soya (Colonia Ensayo, Entre Rios). *Revista Ciencia Agropecuaria*. 19(1-2):39-50.
- Matienzo, BY; Alfonso-Simonetti, J; Vásquez, ML; De la Masa, AR; Matamoros, TCh; Díaz, FY. 2015. Diversidad de grupos funcionales de la fauna edáfica y su relación con el diseño y manejo de tres sistemas de cultivos. *Fitosanidad*. 19(1):45-55.
- Mendieta-Araica, Bryan. 2011. Moringa oleifera as an alternative fodder for dairy cows in Nicaragua. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. p 17-25.
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M & T-Manuales y Tesis SEA, Vol. 1. Zaragoza, 84 p.
- Nieto, GL; Valencia, TF; Giraldo, DR. 2013. Bases pluriépistemológicas de los estudios en agroecología. *Entramado*. 9(1):204-211.
- Padoa, L; Eberhardt, DN; Marchanão, RL; Corbeels, M; Scopel, E; Muraoka, T. 2012. Soil macrofauna and its relationship with Carbon and Nitrogen contents under conservation agriculture systems in the Cerrado of Unai. *FERTBIO*. 5 p.
- Palada, M; Chang, Lien-Chung. 2003. Suggested cultural practices for moringa. *Asian Vegetable Research and Development Center*. 6 p.
- Rendón, PS; Artunduaga, LF; Ramirez, PR; Quiroz, GJ; Leyva, RE. 2011. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo en cultivos de Mora, Pasto y Aguacate. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 64(1)10.
- Roldan, G. 1988. Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Centro de Investigaciones. Universidad de Antioquia. Bogotá, Colombia. 215 p.
- Sermeño, Ch.J.M. 2013. Bío ecología e identificación de las familias de termitas (Blattaria: Isoptera) presentes en El Salvador. *Revista Bioma*. 22(1):9-14.
- Socorrás, A; Izquierdo, I. 2014. Evaluation of agroecological systems through biological indicators of the soil quality: edaphic mesofauna. *Pastos y forrajes*. 37(1):109-114.
- Turner, M; Garner, R. (Ed). 1991. *Quantitative methods in landscapes ecology*. Ecological Studies 82. Springer-Verlag, New York. 536 p.
- Vega, MA; Herrera, RS; Rodríguez, GA; Sánchez, S; Lamela, L; Santana, AA. 2014. Evaluación de la macrofauna edáfica en un sistema silvopastoril en el Valle del Cauto, Cuba. *Revista Cuba de Ciencia Agrícola*. 48(2):189-193.
- Vieira Da Cunha, NF; Fernandes, C.M.E; Almeida, P.G.H; Pereira, MG; Dos Santos Leles, PS. 2012. Soil fauna as an indicator of soil quality in forest stands, pasture and secondary forest. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 36(5):1407-1417.
- Zerbino, MS. 2010. Evaluación de la macrofauna del suelo en rotaciones cultivos-pasturas con laboreo convencional. *Acta Zoológica Mexicana*. N°2:189-202.