



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS VERACRUZ**

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**DIVERSIDAD EDÁFICA DE MACROFAUNA, BACTERIANA Y FÚNGICA EN DOS  
AGROECOSISTEMAS GANADEROS CON MANEJO DE BAJO IMPACTO  
AMBIENTAL.**

**JEREMÍAS NATAREN VELÁZQUEZ**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO

2016

La presente tesis, titulada: **“Diversidad edáfica de macrofauna, bacteriana y fúngica en dos agroecosistemas ganaderos con manejo de bajo impacto ambiental”**, realizada por el alumno: **Jeremías Nataren Velázquez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

Consejero

Dr. Catalino Jorge López Collado

Asesor

Dra. Ana Lid del Angel Pérez

Asesor

Dra. Jacel Adame García

Asesor

Dr. Gustavo López Romero

Asesor

Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, Febrero del 2016

# DIVERSIDAD EDÁFICA DE MACROFAUNA, BACTERIANA Y FÚNGICA EN DOS AGROECOSISTEMAS GANADEROS CON MANEJO DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL.

Jeremías Nataren Velázquez, M.C.

Colegio de postgraduados, 2016

Se cuantificaron colonias de bacterias y hongos, se obtuvieron índices de macrofauna en dos sitios ganaderos unos con árboles frutales y otro con maderables, en la localidad de Loma Iguana, municipio de La Antigua, Veracruz, México. El muestreo se realizó en el mes de Agosto durante los años 2012, 2013 y 2014, se tomaron muestras en los sitios, y se llevaron al laboratorio del Instituto Tecnológico de Ursulo Galván, en donde se determinó la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos y bacterias. Los resultados mostraron un incremento de poblaciones microbianas de  $10^5$  UFC para bacterias y  $10^7$  UFC para hongos, en relación a la línea base. En cuanto a la macrofauna en el sitio con árboles frutales se observó una diversidad baja de 1.1 para el índice de Shannon; sin embargo el índice de margalef se incrementó obteniendo un valor de 1.8 con respecto a la línea base (Lb) después de establecer los árboles.

**Palabras clave:** índice, frutales y forestales.

DIVERSITY OF BACTERIA, FUNGI AND SOIL MACROFAUNA IN TWO  
AGROECOSYSTEM LIVESTOCK OF MINIMUM ENVIRONMENTAL IMPACT

Jeremías Nataren Velázquez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2016

Bacterial and fungal colonies were quantified indices macrofauna were obtained at two sites in livestock, one with fruit trees and other forest trees, in the town of Loma Iguana, municipality La Antigua, Veracruz, Mexico. Samples in the month of August were taken during the years 2012, 2013 and 2014; these samples were taken to the laboratory of the Technological Institute of Ursulo Galvan, where the number of colony forming units (CFU) of fungi and bacteria was determined. The results showed an increase in microbial populations of  $10^5$  CFU to  $10^7$  CFU bacteria and for fungi, in relation to the baseline. The behavior of the macrofauna on site with fruit trees had a low diversity of 1.1 for the Shannon; however margalef index increased obtaining a value of 1.8 with respect to the base line (Lb) after setting the trees.

**Keywords:** index, fruit and forest.

## **DEDICATORIA**

A Jehová, por haberme dado la oportunidad de crecer en una familia, la cual me dio valores y principios para luchar y enfrentar esta vida en todos sus ámbitos, por ser siempre mi guía en todo.

A mis padres, Danilo Nataren Pérez, María Eliut Velázquez Moreno, por sus esfuerzos y por todo el apoyo que me dieron para llegar hasta donde me encuentro en mi vida personal.

A mi esposa, Ana Laura Utrera Moreno mi mayor soporte en este momento, con todo mi amor la mitad de esta tesis es tuya, gracias por quererme, confiar en mí y tenerme paciencia que Jehová siempre te bendiga.

A mi Hijo, Alfonso Joshua Nataren Utrera, eres lo mejor que la vida me ha dado y por ti es que siempre trato de ser mejor persona, para poder darte el mejor ejemplo, muchas gracias por tenerme paciencia cuando no pude estar presente en algunos momentos por estar cumpliendo un sueño más en la vida.

A mis hermanos, Mayra y Danilo, gracias por compartir un poco de ustedes cuando estuvimos juntos, siempre los llevo en mis pensamientos los amo hermanos.

A las personas integrantes de mi consejo Particular, por sus esfuerzos, conocimientos, experiencias y observaciones reunidos en este escrito.

A mis suegros, Hugo Utrera Viveros y Silvia Moreno Zamora, por todo el apoyo brindado durante esta etapa en mi vida.

A mis sobrinitas, Abril, Silvia Yareli y Valeria para que este logro les sirva de ejemplo en sus caminos por la vida.

A mis tíos, mencionarlos a todos serian muchos, pero gracias por que en algún momento estuvimos juntos y me ayudaron a ser mejor persona.

A mis primos, de igual manera mencionarlos uno a uno serian muchos pero gracias a todos con cada uno de ustedes cuando alguna vez soñamos juntos.

A mis cuñados, Daniel, Landi Elizabet y Hugo, gracias por todos los momentos que hemos compartidos juntos y por apoyarme de alguna manera en esta etapa de mi vida.

Sinceramente: Jeremías Nataren Velázquez

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por las becas otorgadas para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias en una institución de prestigio como es el Colegio de Postgraduados.

Al Colegio de Postgraduados en su Programa: Agroecosistemas Tropicales, por todos los recursos humanos e infraestructura invertidos en mi formación.

Al Campo Experimental Cotaxtla perteneciente al INIFAP-CIRGOC, por el apoyo para el establecimiento del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Catalino Jorge López Collado, por fungir como consejero en mi estancia en el Colegio, compartir su experiencia y sus atinadas observaciones en la revisión del presente manuscrito.

A la Dra. Ana Lid del Angel Pérez, asesora del presente manuscrito por compartir su amistad, experiencia y conocimientos depositados en la presente tesis.

A la Dra. Jacel Adame García, por formar parte de mi consejo particular, plasmar en el presente trabajo toda su experiencia y conocimiento así como su amistad en forma desinteresada.

Al Dr. Gustavo López Romero, por formar parte de mi consejo particular, compartir sus conocimientos, experiencia y atinadas observaciones del presente trabajo de investigación.

A la Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza, por formar parte del comité y aportar sus conocimientos a esta investigación.

A Ángel, Mariel, Israel, Laura, Janelly, Ubaldo y a todos los chicos del Laboratorio de Biotecnología del Instituto Tecnológico de Ursulo Galvan a Cargo de la doctora Jacel, mil gracias chicos por todo el apoyo en el trabajo de campo y de laboratorio de esta investigación.

A la M.C. Carmen Aridai, por compartir su experiencia, conocimientos y amistad de manera desinteresada.

A los profesores del Programa en Agroecosistemas Tropicales del Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz, por sus experiencias y conocimientos otorgados en mi formación profesional.

A mis compañeros de generación: Rosalba, Leticia, Juan Carlos, Eleonora, Jair, Flor, Adrián, Fritz, Ivan, José, Apolonia, Salvador, Zule, Adán, Manuel, Nick y Alex por su amistad, cariño, por los momentos que pasamos juntos y por formar ese hermoso grupo llamado “Los híbridos”, me llevo un grato recuerdo de cada uno de ustedes.

A Laura y Fabiola por el apoyo logístico durante mi estancia en la institución.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
3. HIPÓTESIS .....	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
4.1. Impacto de la ganadería sobre el suelo .....	4
4.2. El agroecosistema en la ganadería.....	5
4.3. Importancia de los microorganismos en el suelo.....	5
4.4. Importancia de los hongos del suelo en los servicios ambientales .....	6
4.5. Importancia de las bacterias en los suelos.....	8
4.5.1. Bacterias benéficas en el suelo .....	9
4.6. El papel de la macrofauna en los suelos .....	10
4.7. Sistemas agroforestales.....	10
5. LITERATURA CITADA .....	12
CAPITULO I. CUANTIFICACIÓN DE COLONIAS BACTERIAS Y HONGOS EN DOS SITIOS DE GANADERIA.....	19
1.1. INTRODUCCIÓN .....	21
1.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
1.4. CONCLUSIONES .....	35
1.5. LITERATURA CITADA .....	36
CAPITULO II. ÍNDICES DE DIVERSIDAD EN LA MACROFAUNA DE DOS SITIOS DE GANADERIA CON ÁRBOLES FRUTALES Y FORESTALES .....	40
2.1. INTRODUCCIÓN.....	42
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	43
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
2.4. CONCLUSIÓN .....	57
2.5. LITERATURA CITADA .....	58
CONCLUSIONES GENERALES .....	60

## LISTA DE CUADROS

**Página**

**Cuadro 1.** Tratamientos evaluados con respecto a la línea base del 2012.....24

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Cantidad de cepas fúngicas por gramo de suelo, aisladas del sitio frutales.....	27
<b>Figura 2.</b> Cantidad de cepas bacterianas por gramo de suelo, aisladas del sitio frutales .	28
<b>Figura 3.</b> Cantidad de cepas fúngicas por gramo de suelo, aisladas del sitio forestal .....	29
<b>Figura 4.</b> Cantidad de cepas bacterianas por gramo de suelo, aisladas del sitio forestal. ....	30
<b>Figura 5.</b> Índice de Margalef en predios ganaderos con árboles frutales. ....	45
<b>Figura 6.</b> Índice de Margalef en predios ganaderos con árboles frutales. ....	46
<b>Figura 7.</b> Índice de Simpson en predios ganaderos con árboles frutales.....	48
<b>Figura 8.</b> Índice de Simpson en predios ganaderos con árboles frutales.....	49
<b>Figura 9.</b> Índice de Shannon en predios ganaderos con árboles frutales.....	50
<b>Figura 10.</b> Índice de Shannon en predios ganaderos con árboles frutales .....	51
<b>Figura 11.</b> Índice de Margalef en predios ganaderos con árboles maderables .....	52
<b>Figura 12.</b> Índice de Margalef en predios ganaderos con árboles forestales .....	53
<b>Figura 13.</b> Índice de Simpson en predios ganaderos con árboles maderables. ....	54
<b>Figura 14.</b> Índice de Simpson en predios ganaderos con árboles forestales .....	55
<b>Figura 15.</b> Índice de Shannon en predios ganaderos con árboles maderables .....	56

**Figura 16.** Índice de Shannon en predios ganaderos con árboles maderables. ....57

## 1. INTRODUCCIÓN

El suelo ocupado por ganadería extensiva constituye una de las mayores superficies, además de incorporar la mayor simplificación del ecosistema al seleccionar especies de uso forrajero y evitar el desarrollo de otras especies al emplear herbicidas, chapeos y rastreos; de la misma forma se afecta la biodiversidad al disminuir hábitats para madrigueras, ocultamiento y desplazamiento de mamíferos y aves. Por otra parte, las actuales demandas sociales enfatizan la necesidad de revertir el daño a la biodiversidad, a generar dosel y cambiar prácticas ganaderas de producción extensivas por otras de menor impacto ambiental. Se considera que las actividades económicas están invariablemente asociadas con la calidad de los recursos naturales y el deterioro a los mismos, por lo que es necesario crear las condiciones necesarias para que la producción ganadera extensiva disminuya costos ambientales e interiorice oportunidades de conservación y desarrollo, buscando el equilibrio entre ambos conceptos y formas de impactar al ambiente (Borner *et al*, 2007).

Veracruz ocupa el tercer lugar nacional como entidad más deforestada después de Tlaxcala y el Distrito Federal. Sólo queda un millón 400 mil hectáreas de bosques de los más de 7 millones que originalmente existían. Del 100% del territorio veracruzano, el 44% de los ecosistemas forestales se convirtieron en potreros y 27% en zonas de cultivo, lo que significa que más del 72% de Veracruz, ha sido transformado para usos productivos. De acuerdo con datos oficiales, a la ganadería se destinan tres millones 690 mil hectáreas, lo que significa 49.3% de la superficie total del estado. Existen tres Uniones Ganaderas Regionales, 164 Asociaciones Ganaderas Locales, y 85 Asociaciones Ganaderas Generales con un universo de 58,804 productores (INEGI, 2009).

Uno de los aspectos fundamentales en la producción ganadera es la simplificación del ecosistema para crear zonas de pastoreo abiertas, a través del cambio de uso del suelo.

Pocos estudios han relacionado el tipo de vegetación y la actividad de la macrofauna y microorganismos en los suelos ocupados por ganado (Byers y Barker, 2000; Xiuqin y Tingcheng, 2001). Sin embargo, contrario a lo que la literatura reporta, las áreas ganaderas contienen una serie de riquezas que no han sido consideradas en los programas de conservación.

Entre estas riquezas están los organismos del suelo que contribuyen al crecimiento de comunidades de plantas silvestres y aquellas cultivadas para alimentación o como fuente de fibra o energía. Estos microorganismos juegan un papel importante en las transformaciones químicas que tienen lugar en el suelo. La diversidad de los microorganismos está influenciada por la materia orgánica que generalmente se representa por plantas, residuos de vegetales y tejidos animales. La materia orgánica provee un hábitat favorable para el crecimiento de los microorganismos en comparación con el suelo que contiene poca presencia de materia orgánica (Barns *et al*, 1999).

Por otra parte, los sitios que presentan árboles frutales y/o maderables presentan alta diversidad, donde se llevan a cabo relaciones complejas entre la fauna, flora y microflora, que mantienen la riqueza estructural del hábitat. Los microorganismos del suelo son componentes esenciales de la comunidad biótica en estos sitios, y son responsables de la funcionalidad de los ecosistemas porque participan en la mayoría de las transformación de nutrientes (Hackl *et al*, 2004).

Por lo anterior en esta investigación se evaluó el beneficio de incrementar el dosel en las tierras utilizadas para el pastoreo de ganado, con las posibilidades de conservación de la biodiversidad,

así como disminución de los procesos de erosión y mejoramiento del suelo (microorganismos y macrofauna).

## **2. OBJETIVOS**

### Objetivo general

Evaluar el efecto de dos agroecosistemas ganaderos de bajo impacto ambiental conformado con árboles (maderables y frutales), sobre la diversidad de macrofauna y microorganismos (bacterias y hongos).

### Objetivos particulares

Cuantificar la biomasa bacteriana y fúngica en dos escenarios de bajo impacto ambiental.

Obtener el índice de diversidad de macrofauna presente en los dos agroecosistemas ganaderos de bajo impacto ambiental a estudiar.

## **3. HIPÓTESIS**

### **Hipótesis general**

Existen diferencias en la cantidad de microorganismos y macrofauna en los predios ganaderos en función de la clasificación de alto y bajo impacto.

### **Hipótesis particulares**

El índice de diversidad de macrofauna será distinto entre los escenarios.

La biomasa bacteriana y fúngica serán distintas en cada uno de los escenarios.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Impacto de la ganadería sobre el suelo

El generar soluciones para disminuir el deterioro de los recursos naturales, como la degradación del suelo, agua y aire, se incrementa sobre estos recursos naturales debido al aumento de la demanda creciente de alimentos para una población (Aguilera *et al*, 1997).

Como consecuencia de las actividades agrícolas y ganaderas, vastas áreas de tierra han sido degradadas, algunas en forma irreversible por un amplio rango de procesos, entre los cuales se destacan: erosión acelerada, desertización, compactación, endurecimiento, acidificación, salinización y/o sodificación, disminución en el contenido de materia orgánica, pérdida de diversidad y de la fertilidad del suelo (Amézquita *et al*, 1998).

Según Sadeghian *et al*, (1999), la ganadería juega un papel clave en la salud futura del planeta, ya que esta actividad usa 3.4 billones de ha en praderas, representada en cerca de una cuarta parte de tierras cultivables. En total, la ganadería hace uso de más de dos terceras partes de la superficie mundial bajo agricultura, estos datos son alarmantes, aun sin considerar la baja eficiencia de transformación de pastos en carne.

El establecimiento de los sistemas ganaderos afecta la biodiversidad, modifica el balance de los nutrientes, aumenta la compactación del suelo en un tiempo relativamente corto (menor que 2 ó 3 años), reduce el volumen de los espacios porosos, disminuye la velocidad del flujo del agua y propicia la erosión (Aguilera *et al*, 1997). A ello hay que agregar que gran parte de la

deforestación de los bosques ha tenido que ver con cambios de uso del suelo en favor de la ganadería, donde la erosión y compactación de suelos frágiles con alta pendiente y con vocación forestal determinan mayor impacto. Por otra parte, las emisiones de gases nocivos para la atmósfera (GEI o gases de efecto invernadero y daño en la capa de ozono), contaminación de aguas, eutrofización de zonas costeras, cambios en la cobertura vegetal, disminución de la biodiversidad, no dejan a la ganadería en muy buena posición.

#### **4.2. El agroecosistema en la ganadería**

El agroecosistema es un sistema abierto que incluye un conjunto de factores bióticos y abióticos influidos por el ser humano, siendo estos, copartícipes de la actividad agrícola en la cual se concentra y actúan los factores sociales, políticos, económicos, tecnológicos y ambientales (Hart, 1985; Altieri, 1999; Ruiz, 2006).

El sistema de producción bovino puede estar inmerso en el agroecosistema, refiriéndose al conjunto de plantas y animales los cuales se desarrollan en un medio físico-biótico, social y económico; que es controlado por el hombre mediante técnicas y herramientas para la obtención de leche y carne con el objetivo de comercializarla (Vilaboa *et al*, 2009).

#### **4.3. Importancia de los microorganismos en el suelo**

Las comunidades microbianas del suelo son las más diversas de la tierra y el suelo, representa un hábitat favorable para ellas. Estos se encuentran en grandes cantidades con diversidad de especies. Los microorganismos del suelo se encuentran en uno a diez millones de microorganismos por gramo, donde predominan las bacterias y los hongos (Barns *et al*, 1999).

#### **4.4. Importancia de los hongos del suelo en los servicios ambientales**

Los hongos del suelo juegan un papel clave en los procesos de descomposición que mineralizan y reciclan nutrientes de plantas. En el suelo, los hongos interactúan con una compleja comunidad microbiana que incluye: bacterias, actinomicetos y pequeños invertebrados. Los hongos son una parte importante de la cadena alimenticia en el suelo, principalmente para la mesofauna que habita en el suelo (Bonkowski *et al*, 2000).

Las fracciones orgánicas se componen de material de plantas en diferentes fases de descomposición, raíces vivas, exudados, microorganismos, pequeños invertebrados y contenidos intestinales. Por esta razón, el suelo alberga una parte considerable de la biodiversidad total de hongos, y no existe ninguna estimación fidedigna del número de especies de hongos del suelo (Hawksworth y Mond, 1991; Hawksworth y Rossman, 1997).

Los hongos del suelo juegan un papel clave en los procesos de descomposición, mineralizando y reciclando los nutrientes para las plantas (Wainwright, 1988; Lodge, 1993; Beare *et al*, 1997), favoreciendo el servicio ambiental que el recurso suelo presenta a la naturaleza, al ambiente y a la productividad de los sistemas de producción, así como a la economía del productor.

Los hongos en el suelo presentan un rango muy amplio en el número de especies y pueden cumplir diversas funciones ecológicas, por ejemplo, estar relacionados con los ciclos biogeoquímicos en el suelo (Anderson y Airney, 2004), ocasionar o suprimir enfermedades en las plantas, fungir como promotores del crecimiento vegetal o bien de la adaptación de nuevas especies (Doran, 1996).

En biomasa, los hongos son los dominantes en la microbiota del suelo. Los hongos poseen un amplio rango de funciones en el suelo, incluyendo su papel como simbioses de plantas, patógenos de plantas y animales, oligótrofos, e incluso carnívoros, sin embargo su papel más importante en el suelo desde el punto de vista ecológico, es la descomposición de la materia orgánica desde los azúcares simples y aminoácidos hasta polímeros muy resistentes como la lignina y complejos de ácidos húmicos del suelo (Alexander, 1980; Lynch, 1988; Parkinson y Coleman, 1991).

Gracias a su gran tolerancia a la acidez, comparado con las bacterias heterótrofas, la descomposición de la materia orgánica en suelos ácidos es en su mayoría realizada por hongos. El papel de los hongos como simbioses, específicamente en micorrizas, es de gran importancia para el desarrollo de plantas, por su papel en la toma de nutrientes, resistencia a enfermedades y relaciones hídricas favorables (Alexander, 1980; Lynch, 1983; Parkinson y Coleman, 1991).

En el ecosistema existen actividades que son prácticamente exclusivas de hongos, por ejemplo la descomposición completa de la lignina, la ruptura de moléculas complejas como la celulosa y los taninos (Cannon, 1999), la producción de resinas que mantienen unidos los agregados de suelo (Bhatnagar y Bhatnagar 2005) y fungir como alimento para muchos invertebrados (Shaw, 1992). De los escasos estudios en hongos, la mayoría están enfocados a micorrizas y hongos patógenos de humanos y plantas ya conocidos, dejando a un lado a los hongos degradadores de materia orgánica los cuales poseen importantes funciones en los ecosistemas (Ryberg *et al*, 2009).

Se ha sugerido que la pérdida de una sola especie fúngica en un ecosistema podría tener repercusiones ecológicas a macro escala especialmente debido a la reacción en cadena que llevaría a la interrupción de interacciones entre organismos. De hecho, se ha sugerido que los

perfiles de la comunidad fúngica se modifican significativamente en respuesta a mínimas perturbaciones en el ambiente (Jones, 1998).

#### **4.5. Importancia de las bacterias en los suelos**

Para muchos agricultores es natural pensar que las bacterias son algo dañino, inclusive, algo sucio y creer que la única solución para la agricultura está en los productos químicos, esto tiene mucho que ver con resultados del uso desmedido de agroquímicos y mecanización del suelo, promovido durante la revolución verde. Sin embargo, a pesar de esas ideas tan arraigadas en el medio rural, la agricultura orgánica y el uso de alternativas se presenta cada vez con más fuerza y gana más campos de acción, por ejemplo, bacterias que han sido extraídas del medio ambiente y seleccionadas por su capacidad de realizar procesos bioquímicos benéficos o antagónicos y cada vez son más demandadas. Uno de los mecanismos por el cual estas bacterias son tan eficientes en llevar a cabo estos procesos es la producción de enzimas (Martínez, 2010).

Estas bacterias son unas pequeñas fábricas que liberan enzimas durante toda su vida. En contraste, la mayoría de las bacterias presentes en el medio ambiente producen endo enzimas, que se liberan solamente una vez, al morir. Estos bacilos benéficos no han sido mutados, ni genéticamente alterados. Las bacterias utilizan los exudados de las plantas y generan compuestos que le sirven a la planta dentro de un mecanismo directo de simbiosis. Estas bacterias que colonizan la rizósfera cumplen funciones, de degradación de la materia orgánica y mineralización, haciendo disponible los iones para la planta (Martínez, 2010).

La mayoría de las asociaciones de las bacterias ocurren al nivel de la rizófera, que se define como toda aquella porción de suelo que está fuertemente influida por las raíces de las plantas, la cual a su vez se divide en tres partes: rizo plano (microorganismos pegados a la raíz), endorrizosfera

(microorganismos dentro de la raíz) y ectorrizosfera (microorganismos que actúan de manera circundante a la raíz). Dicha asociación se inicia como respuesta al llamado “efecto rizosférico”, el cual sucede a través de un intercambio de señales que se disparan a partir de la interacción microbio-planta, con resultados claramente benéficos para los dos (Hernández *et al*, 2003).

Cerca del 40% del carbono fijado en la fotosíntesis, es excretado a la rizosfera, lo que favorece a las bacterias que ahí habitan, que se nutren de los exudados de las raíces, como azúcares, vitaminas, factores de crecimiento, ácidos orgánicos, glúcidos (Hernández *et al*, 2003).

#### **4.5.1. Bacterias benéficas en el suelo**

Según Córdova y Riera. (2009), el potencial natural de *Azotobacter* y de *Azospirillum* para la nutrición de la planta y en la fertilidad del suelo es muy importante por lo que es recomendable utilizarla en la agricultura. Las bacterias promotoras del crecimiento, producidas en sustratos orgánicos nativos de regiones tropicales húmedas, han sido una excelente alternativa para el desarrollo de biofertilizantes utilizados en la producción de banano.

Los biofertilizantes son microorganismos vivos que, cuando son aplicados a la semilla, a superficies de la planta o al suelo, favorece la germinación, colonizan la rizósfera o el interior de la planta y promueven el crecimiento aumentando el suministro o disponibilidad de nutrimentos primarios del cultivo. Vessey (2003) estudio las bacterias del suelo y la rizósfera de banano, aisladas e inoculadas en acarreadores como suelo, pollinaza (estiércol de pollo) y pinzote (raquis central del racimo del banano). Se determinó la densidad de bacterias de los géneros *Azotobacter* y *Azospirillum* a través del tiempo así como los contenidos de nitrógeno en los sustratos inoculados, con el fin de proponerlo como biofertilizantes formulado.

#### **4.6. El papel de la macrofauna en los suelos**

La macrofauna del suelo o edáfica está constituida por organismos que pasan toda o una parte de su vida sobre y/o bajo la superficie inmediata del suelo, troncos podridos y hojarasca superficial en la que se incluyen invertebrados con un diámetro mayor a 2 mm (Brown *et al*, 2001).

La macrofauna edáfica tiene un papel muy importante en la fertilidad y estructura física de los suelos, ya que algunos de estos organismos realizan actividades cuyo impacto es positivo, por ejemplo, la regulación de los nutrientes disponibles para las plantas con lo cual se modifica el ambiente superficial y edáfico donde éstas se desarrollan (Lavelle *et al*, 1994).

Diversos estudios demuestran que existe una interacción importante entre la vegetación y la macrofauna del suelo (Wardle *et al*, 2004, Bardgett *et al*. 2005). Las plantas modifican la abundancia y diversidad de fuentes orgánicas y microhabitats (Gastine *et al*, 2003). Por otro lado, la macrofauna edáfica, a través de su actividad, incrementa la descomposición de materia orgánica y libera minerales que quedan disponible para las plantas (Rossi *et al*, 2006).

Sin embargo, hasta ahora la macrofauna asociada al suelo ha recibido relativamente poca atención, situación que se acentúa en el trópico, debido a la presión que ejerce el cambio de uso de suelo cuya secuela es la disminución de la diversidad (Pashanasi 2001). Por lo que probablemente la degradación física y química del suelo o pérdida de su estructura y fertilidad este muy relacionada con la reducción de las poblaciones de invertebrados (Lavelle 2002).

#### **4.7. Sistemas agroforestales**

La investigación en sistemas pecuarios sustentables se ha enfocado en tres aspectos: social, económico y ecológico. Los análisis sobre desarrollo sustentable son diversos debido la

complejidad del tema y la variedad de indicadores involucrados (Brunet *et al*, 2005). En el aspecto social lo más preocupante es el abandono de la actividad agropecuaria por muchos productores (Cervantes *et al*, 2007); en el aspecto económico, la preocupación se ha centrado en la reducción de los costos de alimentación (Améndola, 2002); en el aspecto ecológico se han estudiado el abatimiento de los mantos freáticos y la consecuente necesidad de aumentar la eficiencia en el uso del agua (Godoy-Ávila *et al*, 2003), y la emisión de residuos contaminantes al agua (Cach, 2008).

Los sistemas agrosilvopastoriles surgen como una alternativa para el aprovechamiento integral de los recursos naturales que implica mejorar la alimentación y bienestar del ganado, disminuir riesgos de incendios forestales, diversificar fuentes de ingresos en la unidad de producción, favorecer el reciclaje de nutrimentos, y conservar la biodiversidad, el agua y el suelo (Godoy-Ávila *et al*, 2003).

Sin embargo en estos estudios relacionados con la conservación del ambiente que se han realizado en las parcelas dedicadas a la ganadería, no se ha tomado en cuenta la parte biológica del suelo, como un indicador de salud de los agroecosistemas, ya que los estudios más recientes se centran en la contaminación por los agroquímicos o en las emisiones de gases efecto invernadero que se presenta por el estiércol del ganado (Cach, 2008).

En la Amazonía Peruana, Lavelle y Pashanasi (1989) observaron que ocurre una disminución drástica en la biomasa y diversidad de los macroartrópodos después de la instalación de pastizales y cultivos anuales.

ICRAF (1996), en un estudio efectuado en Yurimaguas (Perú) en sistemas de multiestratos y plantaciones de *Bactris gasipaes* con cobertura de *Centrosema macrocarpum* con 10 años de

edad, encontró que ambos sistemas conservaron el mayor número de especies de macroinvertebrados del sistema natural (bosque primario). Dichas especies ofrecían también nichos ecológicos para muchos organismos colonizadores exóticos. Consecuentemente, la recuperación de pastizales degradados a través de sistemas agroforestales puede ser una opción viable para la recolonización de la macrofauna del suelo (Barros *et al*, 2000).

## 5. LITERATURA CITADA

Alexander M. 1980. *Microbiología del suelo*. AGT Editores. México.

Altieri, M. A. 1999. Agroecología bases científicas para una agricultura sustentable. Ed. Nordan-Comunidad. Montevideo. 339 p.

Améndola, R. D. 2002. A dairy system based on forages and grazing in temperate México. Ph D Thesis Wageningen University, the Netherlands. 269 p.

Anderso C.I., Cairney, W.G.J., 2004, Diversity and ecology of soil fungal communities increased understanding through the application of molecular techniques. *Enviromental Microbiology* 6: 769 – 779.

Bardgett, R. D., W. D. Bowman, R. Kaufmann, and S. K. Schmidt. 2005. A temporal approach to linking aboveground and belowground ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 20:634–641.

Barns S.M., Takala, S.L. and Kurke, C.R. 1999. Wide distribution and diversity of members of the bacterial kingdom acidobacterium in the environment. *Applied Environmental Microbiology*. 65:1731-1737.

Barros, e.; neves, a.; fernandes, e.c.m.; wandelli, e.; lavelle, p. 2000. *Soil macrofauna community of Amazonian Agroforestry Systems*. *Agroforestry Systems* (no publicado).

- Beare, M. H., Vikram Reddy, M., Tian, G. y Srivastava, S. C. 1997. "Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics, the role of decomposer organisms", *Applied Soil Ecology*, vol. 6, pp. 87-108.
- Bhatnagar, A., M. Bhatnagar, 2005. Microbial diversity in desert ecosystems. *Current Science*. 89 (1): 91 – 100.
- Bonkowski, M., Griffith, B. S. y Ritz, K. 2000. "Food preference of earthworms for soil fungi", *Pedobiologia*, vol. 44, pp. 666-676.
- Borner, J., A. Mendoza, and S.A. Vosti. 2007. Ecosystem services, agriculture, and rural poverty in the Eastern Brazilian Amazon: Interrelationships and policy prescriptions. *Ecological Economics* 64: 356-373.
- Brown, G. G., C. Fragoso, I. Barios, P. Rojas, J. C. Patron, J. Bueno, A. G. Moreno, P. Lavelle, V. Ordaz y C. Rodríguez. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoologica Mexicana* 1:79-110.
- Brunett P., L., C. González E., and L. A. García H. 2005. Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores. *Livestock Research for Rural Development* Vol. 17, articulo No. 78. Disponible en línea en <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd17/7/pere17078.htm>. Consultada en febrero 2014.
- Byers, R.A. & Barker, G.M. 2000. Soil dwelling macro-invertebrates in intensively grazed dairy pastures in Pennsylvania, New York and Vermont. *Grass and Forage Sci.* 55:53.
- Cach G., I. I. 2008. Balance de nitrógeno en maíz forrajero con tres usos previos del suelo y tres niveles de fertilización nitrogenada. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Cannon, P. F, 1999. Options and constraints in rapid diversity analysis of fungi in natural ecosystems. *Journal of Fungal Diversity*. 2: 1 – 15.
- Cervantes E., F., A. Cesín V., y S. L. Pérez S. 2007. El abandono de la ganadería lechera y reconversión productiva en Chipilo, Puebla. *Técnica Pecuaria en México* 45(2): 195-208.

- Córdova, B., M. C. Rivera-Cruz.,(2009), *Detección de bacterias benéficas en suelo* Consultado, el 15 de julio de 2014. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018629792009000300007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018629792009000300007&script=sci_arttext).
- Gastine, A., M. Scherer-Lorenzen, and P. W. Leadley. 2003. No consistent effects of plants diversity on root biomass, soil biota and soil abiotic conditions in temperate grassland communities. *Applied Soil Ecology* 24:101–111.
- Godoy-Ávila, C., A. Pérez-Gutiérrez, C. A. Torres-E, L. J. Hermosillo, y I. Reyes-J. 2003. Uso de agua, producción de forraje, y relaciones hídricas en alfalfa con riego por goteo subsuperficial. *Agrociencia* 37(2): 107-115.
- Hackl E., Zechmeister-Boltenstern S., Bodrossy L., Sessitsch A. 2004. Comparison of diversities and compositions of bacterial populations inhabiting natural forest soils. *Applied Environmental Microbiology*. 70:5057–5065.
- Hart, R. D. 1985. Conceptos básicos sobre Agroecosistemas. Turrialba, C. R. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. 160 p.
- Hawksworth, D. L. y Rossman, A. Y. 1997. “Where are all the undescribed fungi?”, *Phytopathology*, vol. 87, pp. 888-891.
- Hawksworth, D.L.; Mound, L.A. 1991. Biodiversity databases: the crucial significance of collections. In: Hawksworth, D.L. (Ed.). *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*. CAB International, Wallingford, pp 17-29.
- Hernández-Montiel, L. G. y Escalona-Aguilar, M. A.,(2003 a) Microorganismos que benefician a las plantas: las bacterias PGPR. Consultado, el 13 de julio de 2014, <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol16num1/articulos/microorganismos/micro.htm>.
- ICRAF (International Center for Research in Agroforestry), *Annual Report*. 1996. Nairobi, Kenya. pp. 39-69.
- INEGI. 2015. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. [http://www.inegi.org.mx/lib/olap/general\\_ver4/MDXQueryDatos.asp](http://www.inegi.org.mx/lib/olap/general_ver4/MDXQueryDatos.asp).

- Jones, D. L., 1998. Organic acids in the rhizosphere – a critical review. *Plant Soil*. 205: 25 – 44.
- Lavelle, P. 2002. Functional domains in soils. *Ecological Research* 17:441-450.
- Lavelle, P., M. Dangerfield, C. Fragoso, V. Eschenbrenner, D. Lopez-Hernandez, B. Pashanasi, and L. Brussaard. 1994. Pags. 137-168 *en* P. L. Wooper, and M. J. Swift, editors. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. *The Biological Management of Tropical Fertility*. Wiley-Sayce. USA.
- Lavelle, P.; Pashanasi, B. 1989. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). *En: Pedobiologia* 33:283-291.
- Lodge, D. J. 1993. “Nutrient cycling by fungi in wet tropical forests”, in S. Isaac, J. C. Frankland, R. Watling y A. J. S. Whalley (eds) *Aspects of Tropical Mycology*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 37–58.
- Lynch J. M. y Hobie J.E. 1988. *Microorganisms in action: concepts and applications in Microbial ecology*. Blackwell Scientific Publications, Gran Bretaña.
- Martínez, H. (2010) Origen y evolución de las bacterias. Consultado, el 13 de julio de 2014 <http://es.wikipedia.org/wiki/Bacteria>.
- Parkinson D. y Coleman D. 1991. Microbial communities, activity and biomass. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 34:3-33.
- Pashanasi, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia peruana. *Folia Amazónica* 12:75-97.
- Rossi, J. P., J. Mathieu, M. Cooper, and M. Grimaldi. 2006. Soil macrofaunal biodiversity in Amazonian pastures: Matching sampling with patterns. *Soil Biology & Biochemistry* 38:2178-2187.
- Ruiz R., O. 2006. Indicadores de sustentabilidad agroecológica. *En: López, B. O., Ramírez, G. S., Ramirez, G. M., Moreno, B. G. y Alvarado, G. A. E. (eds.). Agroecología y Agricultura Orgánica en el trópico*. Universidad Autónoma de Chiapas. México. pp 59-67.

- Ryberg, M., E. Kristiansson, E. Sjökvist, H. Nilsson, 2009. An outlook on the fungal internal transcribed spacer sequences in GenBank and the introduction of a web-based tool for the exploration of fungal diversity. *New Phytologist*. 181: 471 – 477.
- Shaw, P. J. A., 1992. Fungi, fungivores and fungal food webs. IN: Carroll, G.C., D. T. Wicklow (ed.) *The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem*. New York; 295 – 310.
- Vilaboa-Arroniz, J., P. Díaz-Rivera, O. Ruiz, R., D. E. Platas-Rosado, S. González-Muñoz, F. Juárez-Lagunes. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 53-62.
- Wainwright, M. 1988. “Metabolic diversity of fungi in relation to growth and mineral cycling in soil: A review”, *Transactions of the British Mycological Society*, 90: 159–170.
- Wardle, D.A., R.D. Bardgett, J. N. Klironomos, H. Setälä, W. H. Van der Putten, and D. H. Wall. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304:1629–1633.
- Xiuqin, Y & Tingcheng, Z. 2001. Study of the diversity of soil animal’s community in the Songnen plain grassland of China. XIX International Grassland Congress. Brasil. p.23.

# **CAPITULO I. CUANTIFICACIÓN DE COLONIAS BACTERIAS Y HONGOS EN DOS SITIOS DE GANADERIA.**

## **RESUMEN**

Debido a que el número de especies de microorganismos en el suelo varía según las condiciones ambientales, se evaluaron hongos y bacterias presentes en el suelo. El muestreo se realizó en el mes de Agosto durante los años 2012, 2013 y 2014, se tomaron muestras de suelo en los sitios, y se llevaron al laboratorio del Instituto Tecnológico de Ursulo Galván, en donde se determinó la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos y bacterias. Los resultados mostraron un incremento de poblaciones microbianas de  $10^5$  y  $10^7$  unidades formadoras de colonias de bacterias y hongos en los sitios donde se establecieron árboles frutales y arboles forestales con respecto a la línea base. Se concluye que hacer un uso más eficiente del suelo en parcelas dedicadas a la ganadería mejora la actividad biológica del suelo y favorece la disponibilidad de nutrientes para que los árboles frutales y forestales puedan tener un mejor desarrollo, esto ayuda a la adopción de manejo agronómico de bajo impacto ambiental en sitios de ganadería.

**Palabras clave:** hongos, bacterias, frutales y forestales.

# QUANTIFICATION OF BACTERIAL COLONIES AND FUNGI IN TWO PLACES

## LIVESTOCK

### ABSTRACT

Because the number of species of microorganisms in soil varies depending on environmental conditions, fungi and bacteria present in the soil were evaluated. Sampling was carried out in the month of August during the years 2012, 2013 and 2014, soil samples in both places were taken and were taken to the laboratory of the Technological Institute of Ursulo Galvan, where the number of colony forming units was determined (UFC) of fungi and bacteria. The results showed an increase in microbial populations  $10^5$  and  $10^7$  colony forming units of bacteria and fungi in places where fruit trees and forest trees were established with respect to the baseline. It is concluded that a more efficient use of land on sites dedicated to livestock improves soil biological activity and promotes the availability of nutrients to the fruit and forest trees may have a better development, this helps the adoption of agronomic management low environmental impact on livestock

**Keywords:** fungi, bacteria, fruit and forest.

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Las comunidades microbianas del suelo son las más diversas de la tierra, y el suelo representa un hábitat favorable para ellas, por lo que se encuentran en grandes cantidades de especies. Estos microorganismos se presentan entre uno a diez millones por gramo de suelo, donde predominan bacterias y hongos (Barns *et al*, 1999).

Las bacterias son uno de los componentes más importantes en la microbiota del suelo y juegan un papel importante en la descomposición de la materia orgánica, biotransformación, producción de biogás y fijación de nitrógeno. En particular tienen un papel importante en la fertilidad del suelo como resultado de su participación en el ciclo de nutrientes (El Frantroussi *et al*, 1999).

La relación entre la diversidad microbiana y el suelo son temas de gran debate, pues se ha demostrado que la función microbiana varía con el tipo de suelo, así como la respuesta del suelo al manejo (Reeve *et al*, 2010); en la mayoría de los suelos alterados o cultivados los hongos forman la mayor parte del total de la biomasa de microorganismos, y numerosos patógenos de plantas y microorganismos promotores del crecimiento son hongos, y al igual que las bacterias, son buenos degradadores en el suelo; de la misma forma, generan nutrientes durante la descomposición de la materia orgánica (Bossio *et al*, 1998).

Sin embargo durante el último siglo, la fragmentación y degradación ecológica se ha acelerado debido al incremento de la población, y los impactos de la actividad humana caracterizados por el estrés continuo y generalizado que incluye la tala y quema, pastoreo excesivo y monocultivos a gran escala, así como mal uso de los suelos, generando impactos negativos en los componentes microbianos de estos suelo (Gama-Rodríguez y May 2001). Los sitios con una buena estructura vertical, ofrecen diversidad, y permiten se lleven a cabo relaciones complejas entre la fauna, flora y microflora y mantienen la riqueza estructural del hábitat, en estos casos, los microorganismos del suelo son componentes esenciales de la comunidad biótica, y son responsables de la funcionalidad de los ecosistemas porque participan en la mayoría de las transformaciones de nutrientes (Hackl *et al*, 2004).

Para el caso de las áreas de ganadería, contrario a lo que mucha de la literatura reporta, aún es posible encontrar riquezas que no han sido consideradas en los programas de conservación (Hernández, *et al.*, 2015, Vazquez *et al*, 2015; Del Angel *et al*, 2015). Por lo anterior este trabajo trata de aportar elementos para considerar el beneficio que se presenta en el suelo al incrementar el dosel en las tierras utilizadas para el pastoreo de ganado, favoreciendo las acciones de conservación, reduciendo el riesgo de los procesos de erosión y mejorando la biota del suelo.

## **1.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción del área de estudio y toma de muestra**

La zona de estudio fuero en terrenos de la localidad de Loma Iguana, municipio de la Antigua, Ver. Localizados a N19° 14'15'' y W96° 19'15'', y a 20 metros sobre el nivel del mar. El clima

predominante es cálido subhúmedo, el cual es intermedio entre el más seco y el más húmedo de los subhúmedos, con un régimen de lluvias en verano. La temperatura promedio anual es de 25.4 °C y con una precipitación anual de 1241.6 mm.

Se evaluaron 19 tratamientos en dos predios ganaderos, los cuales se describen en el Cuadro 1. Sin embargo se consideró la línea base (sin proyecto) con el objeto de comparar la bondad de los tratamientos (con proyecto). A partir del año 2012 se establecieron árboles frutales como chicozapote (*Manilkara zapotese*), naranja (*Citrus sinensis*), mango (*Mangifera indica*), guanábana (*Anona muricata*), limón persa (*Citrus latifolia*), aguacate (*Persea Americana*). en dos densidades de plantación de 8x14 m y 14x14 m en un predio, y maderables cedro (*Cedrela odorata L.*), caoba (*Swietenia macrophylla King.*), roble (*Ehretia tinifolia L.*) y primavera (*Tabebuia donnell-smithii Rose*) en el otro para generar el dosel.

El muestreo se realizó en el mes de Agosto durante los años 2012, 2013 y 2014, para lo cual se tomaron muestras de suelo a 30 cm de profundidad en los sitios, y posteriormente se llevaron al laboratorio del Instituto Tecnológico de Ursulo Galván, en donde se determinó la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos y bacterias presentes en el suelo.

**Cuadro 1.** Tratamientos evaluados con respecto a la línea base del 2012.

Nombre	Descripción	Abreviatura
Frutales Alta Densidad Orgánico	8 m x 14 m	FRADO
Frutales Alta Densidad Mineral	8 m x 14 m	FRADM
Frutales Baja Densidad Orgánico	14 m x 14 m	FRBDO
Frutales Baja Densidad Mineral	14 m x 14 m	FRBDM
Frutales Alta Densidad Testigo	8 m x 14 m	FRADT
Frutales Baja Densidad Testigo	14 m x 14 m	FRBDT
Forestal Mineral Cedro	1ª 100g/árbol (100-25-25) 2ª 100g/árbol (12-8-12)	FOMCE
Forestal Mineral Caoba	1ª 100g/árbol (100-25-25) 2ª 100g/árbol (12-8-12)	FOMCA
Forestal Mineral Roble	1ª 100g/árbol (100-25-25) 2ª 100g/árbol (12-8-12)	FOMR
Forestal Mineral Primavera	1ª 100g/árbol (100-25-25) 2ª 100g/árbol (12-8-12)	FOMP
Forestal Testigo Cedro		FOTCE
Forestal Testigo Caoba		FOTCA
Forestal Testigo Roble		FOTR
Forestal Testigo Primavera		FOTP
Forestal Materia Orgánica Cedro	5kg lompl/planta	FOMOCE
Forestal Materia Orgánica Caoba	5 kg lomb./planta	FOMOCA
Forestal Materia Orgánica Roble		FOMOR
Forestal Materia Orgánica Primavera	5 kg lomb./planta	FOMOP

### **Conteo y aislamiento de bacterias**

Las muestras se procesaron empleando el método de dilución en placa. Se colocaron 10 g de suelo en 90 ml de agua destilada estéril (dilución  $10^{-1}$ ). Posteriormente se tomó 1 ml de la dilución  $10^{-1}$  y se colocaron en 9 ml de agua destilada estéril hasta obtener las diluciones  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$ . Se colocaron 100  $\mu$ l de cada dilución ( $10^{-3}$  a  $10^{-7}$ ) en cajas petri que con medio de cultivo agar nutritivo, medio LB y medio para *Bacillus*. Se inocularon tres repeticiones (caja petri) por dilución. Las cajas petri se incubaron a 30°C durante 24-36 horas. Una vez que transcurrió el tiempo se contaron las colonias desarrolladas y se determinó el número de unidades formadoras de colonias por ml (UFC/ml).

### **Conteo y aislamiento de hongos**

Para el conteo y aislamiento de hongos se tomaron las mismas diluciones que las bacterias y se inocularon 100  $\mu$ l de cada dilución ( $10^{-5}$  a  $10^{-6}$ ) en cajas petri que contenían medio de cultivo Papa Dextrosa Agar y Rosa de Bengala. Se hicieron 3 repeticiones. Las cajas se incubaron a 25°C durante 48 horas. Una vez desarrollado el micelio se determinó el número de unidades formadoras de colonias por ml (UFC/ml).

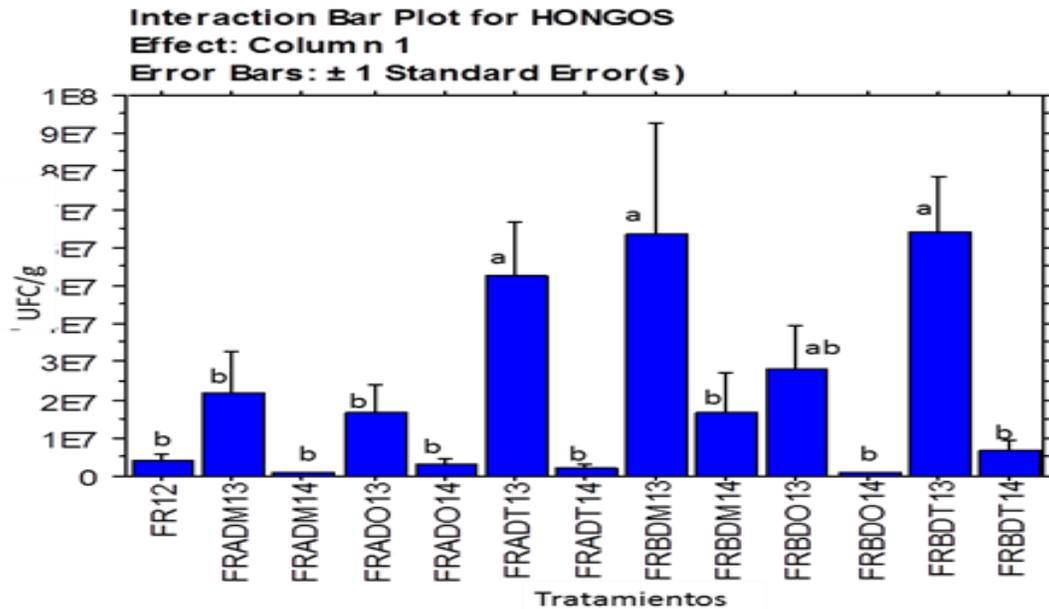
### **Análisis de datos**

Las diferencias entre los sitios en densidad total y por grupo de microorganismos se analizó con el software StatView (versión 5.0) mediante ANOVA y para el contraste de los datos se utilizó la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

### 1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

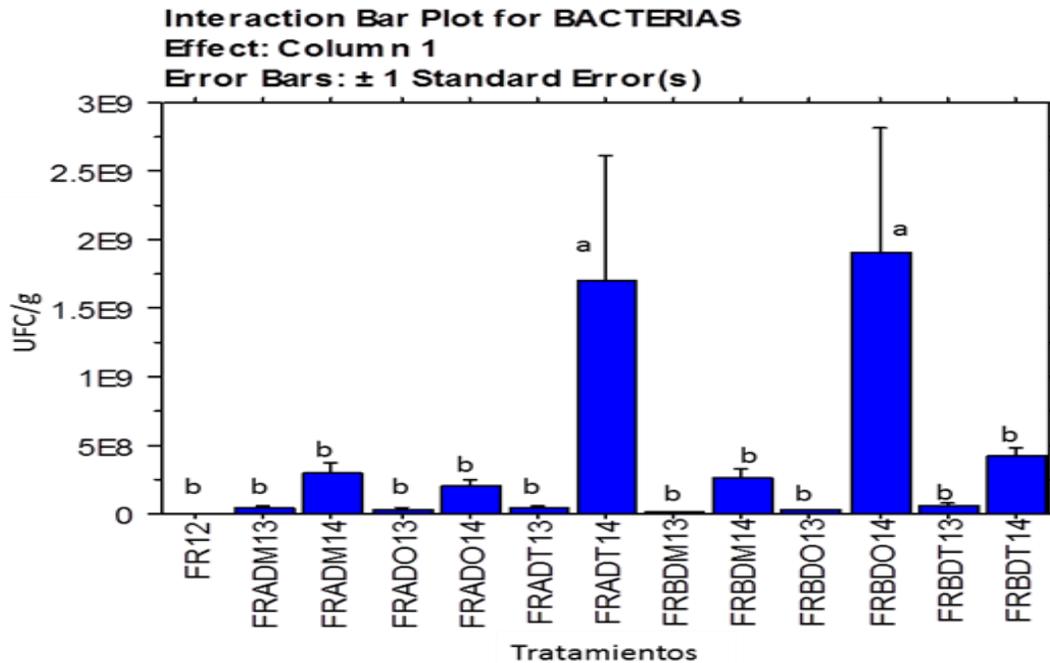
Las poblaciones microbianas cultivables mostraron diferencias significativas ( $P < 0.0001$ ) entre los tratamientos evaluados durante el 2013 y 2014, con respecto a la línea base del 2012. Las Figuras 1–4 muestran una comparación de los tratamientos, empleando los datos del tamaño de la población bacteriana y fúngica. Sin embargo, aunque se observan diferencias entre los tratamientos, no se encontró una correlación evidente con respecto al tipo de árbol (frutal o forestal) y tipo de fertilización (mineral y orgánica).

En el sitio donde se establecieron frutales, la biomasa fúngica presentó diferencias significativas solo durante el primer año (2013) en el tratamiento frutales en baja densidad con fertilización mineral (FRBDM13) ( $P < 0.0001$ ), y en los testigos con baja y alta densidad (FRBDT y FRADT). Los demás tratamientos evaluados el segundo año (2014) no presentaron diferencias significativas por lo que no lograron ser superiores a la línea base FR12 (Figura 1).



**Figura 1. Cantidad de cepas fúngicas por gramo de suelo crecidas en papa dextrosa agar, aisladas del sitio frutales:** línea base 2012 (FR), alta densidad con fertilización mineral (FRADM13 para el 2013 y FRADM14 para 2014), alta densidad con fertilización orgánica (FRADO 2013 y 2014), testigo con alta densidad (FRADT 2013 y 2014), baja densidad con fertilización mineral (FRBDM 2013 y 2014), baja densidad con fertilización orgánica (FRBDO 2013 y 2014) y testigo con baja densidad (FRBDT). Las barras representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey a un nivel de significancia  $p < 0.05$ ).

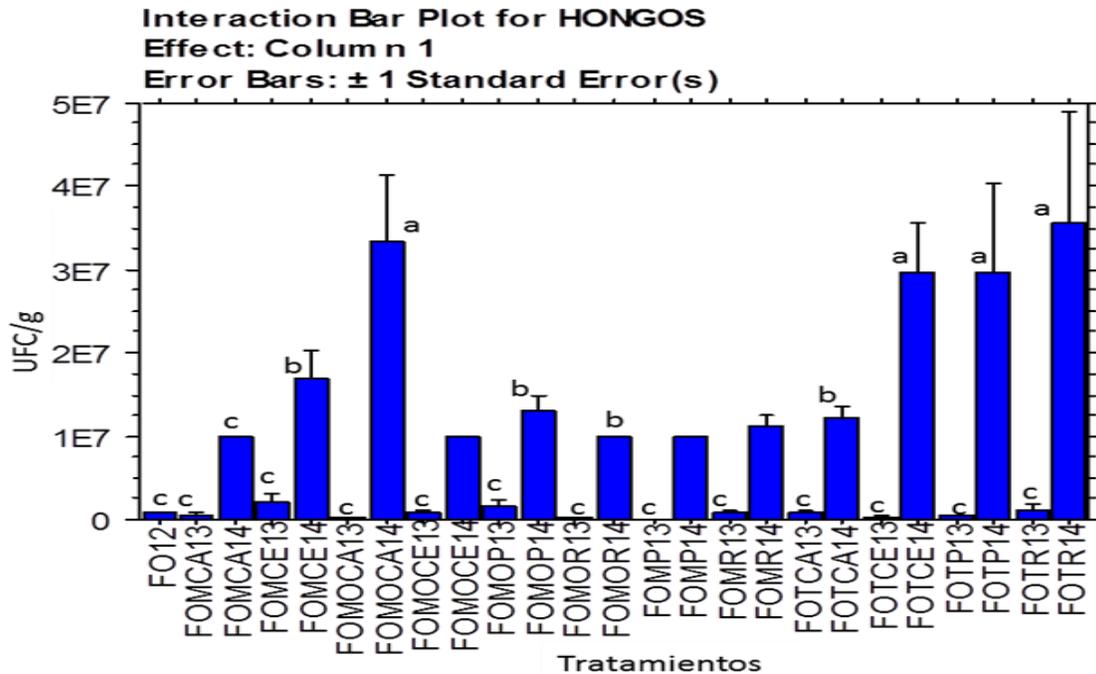
Biomasa bacteriana (Figura 2) se observó que el segundo año (2014), el tratamiento de frutales en baja densidad con abono orgánico (FRBDO14) y el testigo alta densidad (FRADT14) fueron significativamente distintos ( $P=0.0008$ ), mostrando un incremento importante a los datos obtenidos en la línea base (FR12), y a todos los tratamientos del 2013. Sin embargo, se observó un aumento del número de UFC/g de suelo en estos tratamientos comparados con la biomasa bacteriana del 2012 (FR12) (Figura 2).



**Figura 2. Cantidad de cepas bacterianas por gramo de suelo cultivadas en agar nutritivo, aisladas del sitio frutales:** línea base 2012 (FR), alta densidad con fertilización mineral (FRADM13 para el 2013 y FRADM14 para 2014 ), alta densidad con fertilización orgánica (FRADO 2013 y 2014), testigo con alta densidad (FRADT 2013 y 2014), baja densidad con fertilización mineral (FRBDM 2013 y 2014), baja densidad con fertilización orgánica (FRBDO 2013 y 2014) y testigo con baja densidad (FRBDT). Las barras representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey a un nivel de significancia  $p < 0.05$ ).

La biomasa fúngica en el sitio forestal, muestra que los tratamientos FOMOCA14, FOTCE14, FOTP14 y FOTR14 fueron significativamente superiores ( $P < 0.0001$ ) a la línea base del 2012 y a los tratamientos evaluados en el 2013 (Figura 3).

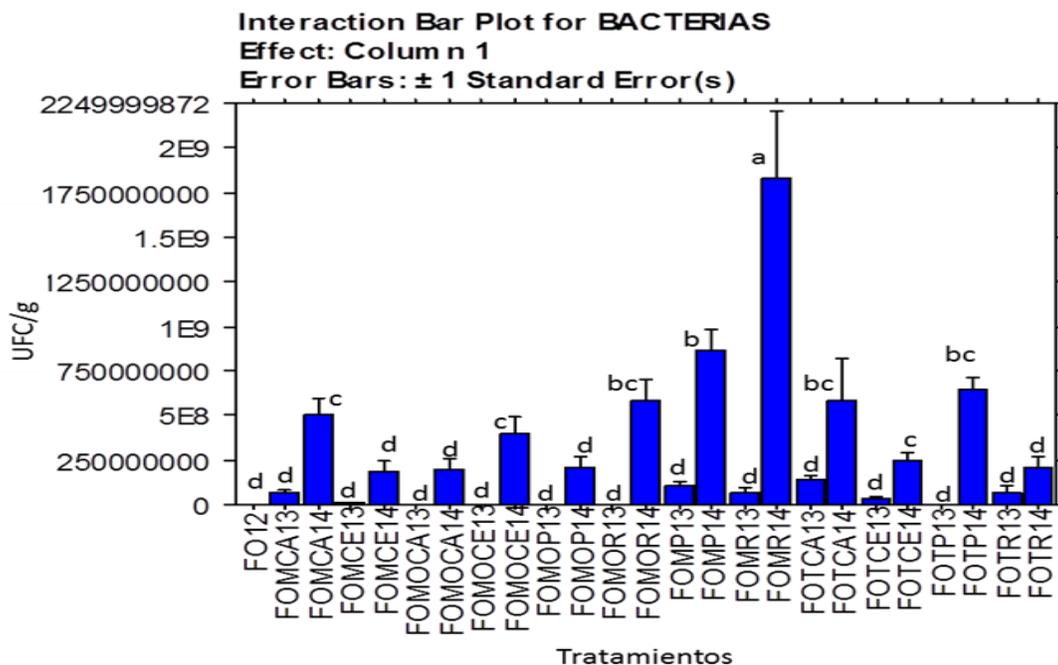
Por otra parte, también se observa que a diferencia de la biomasa fúngica y bacteriana del sitio frutales, en el sitio forestal, se encontró mayor abundancia de microorganismos; esto se debe a que también está presente una diversidad de árboles maderables (cedro, caoba, roble y primavera), lo que permite que los exudados de las raíces regulen las poblaciones microbianas.



**Figura 3. Cantidad de cepas fúngicas por gramo de suelo cultivadas en medio PDA, aisladas del sitio árboles forestales:** línea base 2012 (FO12), y evaluaciones 2013 y 2014 de caoba con fertilización mineral (FOMCA13 y FOMCA14), cedro con fertilización mineral (FOMCE13 y FOMCE14), roble con fertilización mineral (FOMR13 y FOMR14), primavera con fertilización mineral (FOMP13 y FOMP14), caoba con fertilización orgánica (FOMOCA13 y FOMOCA14), cedro con fertilización orgánica (FOMOCE13 y FOMOCE14), roble con fertilización orgánica (FOMOR13 y FOMOR14), primavera con fertilización orgánica (FOMOP13 y FOMOP14), testigo caoba (FOTCA13 y FOTCA14), testigo cedro (FOTCE13 y FOTCE14), testigo roble (FOTR13 y FOTR14) y testigo primavera (FOTP13 y FOTP14). Las barras representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey a un nivel de significancia  $p < 0.05$ ).

En lo que respecta a la biomasa bacteriana, se observó que a los dos años (2014), después de establecer los árboles, el tratamiento de roble con fertilización mineral (FOMR14) resulto ser el mejor por presentar diferencias significativas, con respecto a los otros tipos de árboles y fertilización, así como con la línea base. Por otra parte, se observa un segundo nivel de agrupación entre los tratamientos evaluados durante 2014, ya que todos ellos fueron

estadísticamente superiores ( $P=0.0009$ ) a la línea base (FO12) y a todos los demás tratamientos del 2013 (Figura 4).



**Figura 4. Cantidad de cepas bacterianas por gramo de suelo cultivadas en medio agar nutritivo, aisladas del sitio donde establecido con árboles forestales:** línea base 2012 (FO12), y evaluaciones 2013 y 2014 de caoba con fertilización mineral (FOMCA13 y FOMCA14), cedro con fertilización mineral (FOMCE13 y FOMCE14), roble con fertilización mineral (FOMR13 y FOMCE14), primavera con fertilización mineral (FOMP13 y FOMP14), caoba con fertilización orgánica (FOMOCA 13 y FOMOCA 14), cedro con fertilización orgánica (FOMOCE13 y FOMOCE14), roble con fertilización orgánica (FOMOR13 y FOMOR14), primavera con fertilización orgánica (FOMOP13 y FOMOP14), testigo caoba (FOTCA13 y FOTCA14), testigo cedro (FOTCE13 y FOTCE1), testigo roble (FOTR13 y FOTR14) y testigo primavera (FOTP13 y FOTP14). Las barras representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey a un nivel de significancia  $p<0.05$ ).

Las actividades antropogénicas incluyendo las prácticas agrícolas afectan directa e la ecología del suelo. Los efectos de las prácticas de uso de suelo han sido ampliamente estudiadas, en este trabajo se muestra que el sitio donde se tienen establecidos los árboles frutales no presenta una

variación significativa en cuanto a biomasa bacteriana y fúngica, esto es porque en esta zona solo se cuenta con un tipo de especie de árbol frutal, por lo que es un sitio de baja diversidad vegetal y por lo tanto también las poblaciones microbianas se ven afectadas. Lo anterior permite confirmar que el efecto del cambio en el uso de suelo no genera resultados evidentes a corto plazo ya que es necesario que se permita al suelo realizar los cambios a través de los años.

Los resultados de este trabajo coinciden con los reportados por Bonilla *et al*, (2009; 2012) quienes evaluaron la composición de la comunidad, diversidad y biomasa bacteriana en una huerta de aguacate establecida hace 15 años y en la que se aplicaron diferentes abonos orgánicos y manejo del cultivo. Los autores afirman que las poblaciones cultivables de microorganismos mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo no se observa evidencia de correlación con la época de muestreo. Por otra parte no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados al suelo y los testigos (sin abonado) con respecto a las densidades de población de un género específico de bacterias (*Pseudomonas spp.*) y de las poblaciones de hongos.

Lo anterior sugiere que el suelo original es el principal factor que afecta los niveles de población de los microorganismos cultivables de suelo y que las aplicaciones de materia orgánica y uso de suelo son importantes. Numerosos estudios previos han reportado efectos importantes en las comunidades microbianas del suelo tanto en abundancia como en composición (Yao *et al*, 2005; Stark *et al*, 2007; Wallis *et al*, 2010; Gomiero *et al*, 2011).

En los resultados de este trabajo se observó que el efecto de las densidades de población y el tipo de fertilización presenta efectos en la biomasa bacteriana y en menor grado en el tamaño de las

poblaciones de hongos, en las que se presentó disminución con respecto a la evaluación del primer año.

La ausencia de efectos altamente discernibles entre los tamaños de población en los tratamientos, no quiere decir que los abonos orgánicos o la densidad de población no estén afectando las comunidades bacterianas, ya que existen reportes (Bonilla *et al*, 2012) de que la biomasa no varía pero si la diversidad de las población se ve incrementada considerablemente con este tipo de abonos, por lo que se requiere ampliar este trabajo con la evaluación de la diversidad de poblaciones cultivables y no cultivables.

Otros autores reportan que la estructura de las comunidades de microorganismos de suelo se ven significativamente impactadas por el cambio de uso de suelo después de un periodo de 3–4 años (Wu *et al*, 2008). Por lo que se considera que los experimentos a largo plazo son vitales para los estudios en agricultura y ambiente porque permiten evaluar numerosos parámetros en tiempos considerables (Powlson *et al*, 2011). También se debe considerar que la diversidad y densidad microbiana puede fluctuar dependiendo del tipo de planta y tipo de fertilización.

Numerosos estudios han reportado que los efectos de las técnicas en el manejo de suelo y la adición de abonos orgánicos impactan directamente en la calidad del suelo y por consecuencia en la salud de las plantas y del cultivo (Yen *et al*, 2010).

La cantidad y calidad de materia orgánica afecta las propiedades fisicoquímicas del suelo y los factores bióticos como la microbiota del suelo, tanto en biomasa como en la diversidad y la estructura de la comunidad. Hecho importante para la provisión de buenos ecosistemas y sobre todo sistemas naturales, los cuales dependen no solo de la presencia y ausencia de especies, sino que también de su abundancia.

Los resultados obtenidos podrían deberse a que los cambios en la diversidad de plantas modifican la disponibilidad de recursos para las comunidades microbianas heterótrofas en el suelo, modificando así su actividad, biomasa y composición (Habekost *et al*, 2008; Benizri y Amiaud, 2005). También se ha sugerido que la composición de especies microbianas en el suelo está determinada por factores abióticos y bióticos, en función de la disponibilidad de nichos ecológicos diferentes (Zul *et al*, 2007).

Estos factores, además de controlar la diversidad microbiológica, muestran que la biomasa microbiana está significativamente correlacionada con la diversidad de plantas (Zak *et al*, 2003). Esta correlación es atribuida a un alto nivel de producción primaria asociada a la diversidad de especies vegetales. Por otra parte se coincide en parte con Marschner *et al*, (2001). Estos autores concluyeron que la composición de la comunidad microbiana en la rizósfera se afecta por una interacción compleja entre el tipo de suelo, las especies de plantas y la ubicación de la raíz.

Los resultados de este trabajo concuerdan con estudios realizados anteriormente (Ruiz y Febles 2001; Acosta *et al*, 2006 y Ibrahim *et al*, 2006) en los que se ha estimado la biomasa microbiana de dos sitios con giro extensivo ganadero. Los resultados reportados muestran que existe una diferencia significativa en las zonas siendo mayor el número de aislamientos de los sitios en qué han sido insertadas especies forestales a manera de mejorar el dosel presente y así disminuir el impacto ambiental que los sistemas ganaderos representan a la vez de recuperar fertilidad en los suelos.

También coincide con lo expresado por Hafich *et al*, (2012) cuando señala que la introducción de árboles en zonas de pastizales tropicales modifica de manera significativa la cantidad de la biomasa microbiana en general. La sombra del dosel de árboles genera microclimas mejores y

aumenta la cantidad de materia orgánica con lo cual aumenta la actividad microbiológica de hongos (Machecha, 2002 y Sánchez *et al*, 2003).

Los cambios en cuanto a la biomasa de microorganismos se deben a que los sitios que presentan árboles frutales y/o maderables son sitios con alta diversidad, donde se llevan a cabo relaciones complejas entre la fauna, flora y microflora y mantienen la riqueza estructural del hábitat. Los microorganismos del suelo son componentes esenciales de la comunidad biótica en estos sitios, y son responsables de la funcionalidad de los ecosistemas porque participan en la mayoría de las transformación de nutrientes (Hackl *et al*, 2004).

Con base en lo anterior, se puede decir que existe una interdependencia entre la ausencia y presencia de comunidades de plantas y la abundancia de hongos, lo que sugiere que el mecanismo más importante a través del cual los cambios en la diversidad de plantas afectan las comunidades microbianas del suelo y las actividades del ciclo del carbono, puede ser a través de alteraciones en la abundancia fúngica más que en la composición de la comunidad (Carney y Matson, 2005).

Se ha comentado que una de las partes fallidas de los sistemas de reforestación es lograr la sobrevivencia de las especies cuando son plantadas. De ahí la importancia de los microorganismos que aportan beneficios a los árboles, por ejemplo, aumentan su desarrollo, brindan mayor adaptabilidad cuando se trasplantan y aportan agua del subsuelo ante situación de estrés hídrico (Olalde–Portugal, 2013).

Estudios recientes realizados por Olalde–Portugal (2013) demuestran que los hongos al estar en contacto con las raíces comienza una comunicación bioquímica que permite a los árboles adaptarse sin problema cuando se trasplantan. Además, el microorganismo se encarga de explorar

el suelo más allá de lo que pueden alcanzar las raíces para llevarles elementos útiles para su desarrollo, como el fósforo.

Es importante señalar el resultado del sitio forestal que en comparación con el sitio con frutales el cual presentó una biomasa fúngica mayor. Al introducir árboles forestales se ha observado que especies como la Caoba (*Swietenia macrophylla*) y *Tectonagrandis* L. tienen una alta actividad microbiológica en sus rizósferas sin embargo dicha actividad se enfoca más hacia especies de hongos micorrízicos arbusculares (Alvarado *et al*, 2004; Dhar y Mridha, 2006; Rodríguez *et al*, 2010).

Los hongos y las bacterias en asociación con ciertos grupos de invertebrados son fundamentales para el proceso de descomposición del mantillo. Esto exige que el conocimiento sobre la variación en las asociaciones de estos organismos durante el proceso de sucesión sea fundamental para una mejor comprensión de muchos de los cambios físicos y químicos que ocurren en el suelo (Blasco, 1970).

#### **1.4. CONCLUSIONES**

Las poblaciones microbianas cultivables mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados durante el 2013 y 2014 con respecto a la línea base del 2012.

Los tratamientos de la parcela de árboles maderables (FOMOCA14, FOTCE14, FOTP14 Y FOTR14) fueron significativamente superiores con respecto a la biomasa obtenida en la línea base del 2012.

## 1.5. LITERATURA CITADA

- Acosta, Z., Plasencia, J. & Espinosa, A. 2006. Servicios ambientales de un sistema silvopastoril de Eucalyptus.
- Alvarado, A., Chaverría, M., Guerrero, R., Boniche, J., Navarro J.R., 2004, Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de Teca (*Tectonagrandis* L.) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28: 89 – 100.
- Barns S.M., Takala, S.L. and Kurke, C.R. 1999. Wide distribution and diversity of members of the bacterial kingdom acidobacterium in the environment. *Applied Environmental Microbiology*. 65:1731-1737.
- Benizri, E., and B. Amiaud. 2005. Relationship between plants and soil microbial communities in fertilized grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*. 37: 2055–2064.
- Blasco, M. 1970. *Microbiología de suelos*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica. 1970. 247 p. (mimeo).
- Bonilla N, Torés JA, Hermoso JM, González J, Cazorla FM, de Vicente A. 2009. Biological control of avocado root rots by suppressive organic amendments. En: Elad Y, Maurhofer M, Keel C, Gessler C, Duffy B (eds) *IOBC/wprs Bulletin: biological control of fungal and bacterial plant pathogens*, Interlaken, Switzerland, 2009. pp 231–234.
- Bonilla N., F.M. Cazorla, M. Martínez-Alonso, J.M. Hermoso, J. J. González-Fernández, N. Gaju, B.B. Landa and A. de Vicente. 2012. Organic amendments and land management affect bacterial community composition, diversity and biomass in avocado crop soils. *Plant Soil* 357:215–226.
- Bossio DA, Scow KM, Gunpala N, Graham KJ. 1998. Determination of soil microbial communities: effect of agricultural management, season, and soil type on phospholipid fatty acid profiles. *Microbial Ecology* 36:1–12.
- Carney, K. M., and P. A. Matson. 2005. Plant Communities, Soil Microorganisms, and Soil Carbon Cycling: Does Altering the World Belowground Matter to Ecosystem Functioning?. *Ecosystems*. 8: 928–940.

- Dhar, P.P., Mridha M.A.V., 2006. Biodiversity of arbuscularmycorrhizal fungi in different trees of madhupur forest, Bangladesh. *Journal of Forestry Research* 17: 201 – 205.
- El Frantroussi S.L., Verschuere, W., Verstraete, W. and Top, E.M. 1999. Effect of phenyllorea herbicides on soil microbial communities estimated by analysis of 16rRNA gene fingerprints and community level physiological profiles. *Applied Environmental Microbiology*. 65:982-988.
- Gama-Rodrigues, A.C., and May, P. 2001. Safe o Planejamento do Uso da Terra: Experiencia na regio Norte Fluminense-RJ. In *Anais do III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. Sistemas agroflorestais: Manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural*, Manaus, 2001. Edited by J.L.V. Macedo, E.V. Wandelli, and J. Silva. pp. 130–145.
- Gomiero T, Pimentel D, Paoletti MG. 2011. Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. *Critical Review Plant Science* 30(1– 2):95–124.
- Habekost, M., N. Eisenhauer, S. Scheu, S. Steinbeiss, A. Weigelt, G. Gleixner. 2008. Seasonal changes in the soil microbial community in a grassland plant diversity gradient four years after establishment. *Soil Biology and Biochemistry*. 40: 2588–2595.
- Hackl E., Zechmeister-Boltenstern S., Bodrossy L., Sessitsch A. 2004. Comparison of diversities and compositions of bacterial populations inhabiting natural forest soils. *Applied Environmental Microbiology*. 70:5057–5065.
- Hafich, K., Perkins E.J., Hauge, J.B., Barry, D., Eaton, W.D., 2012. Implications of land management on soil microbial communities and nutrient cycle dynamics in the lowland tropical forest of northern Costa Rica. *Tropical Ecology* 53: 215 – 224.
- Ibrahim, M., Villanueva, C., Casasola, F. & Rojas, J. 2006. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y la restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. *IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería*.
- Machecha, L. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Rev. Col. Ciencias. Pecuarias*. 15: 226.

- Marschner, P., C. H. Yang, R. Lieberei, and D.E. Crowley. 2001. Soil and plant specific effects on bacterial community composition in the rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry*. 33:1437–1445.
- Olalde-Portugal V., 2013. Potencian con bacterias el crecimiento de árboles frutales hasta en un 40%. Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología (Verificado Abril 2014) (<http://www.dicyt.com/noticias>)
- Powlson DS, Brookes PC, Whitmore AP, Goulding KWT, Hopkins DW. 2011. Soil organic matters. *European Journal of Soil Science* 62 (1):1–4.
- Reeve J. R, Schadt C. W., Carpenter-Boggs L., Kang S., Zhou J., and Reganold J. P. 2010. Effects of soil type and farm management on soil ecological functional genes and microbial activities. *ISME Journal*. 4:1099-1107.
- Rodríguez, M.V.H. 2010. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares y su interacción con factores ambientales y fisiológicos en la producción de plántulas de Caoba (*Swieteniamacrophylla* King). Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados.
- Ruiz, T. & Febles, G. 2001. Factores que influyen en la producción de biomasa durante el manejo del sistema. *Producción Pecuaria Sostenible. Sección de Conferencias. La Habana, Cuba.* 23 p.
- Sánchez, M., Rosales, M. & Murgueitio, E. 2003. Agroforestería pecuaria en América Latina. En: *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Eds. D.M Sánchez y M. Rosales. FAO. Roma. 10 p.
- Stark C, Condrón LM, Stewart A, Di HJ, O'Callaghan M. 2007. Influence of organic and mineral amendments on microbial soil properties and processes. *Appl Soil Ecol* 35(1):79–93
- Tiedje JM, Asuming-Brempong S, Nusslein K, Marsch TL, Flynn SJ. 1999. Opening the black box of soil microbial diversity. *Applied Soil Ecology* 13:109–22.
- Wallis PD, Haynes RJ, Hunter CH, Morris CD. 2010. Effect of land use and management on soil bacterial biodiversity as measured by PCR-DGGE. *Applied Soil Ecology* 46 (1): 147–150.

- Wu T. D.O. Chellemi, J. H. Graham, K. J. Martin, E. N. Rosskopf. 2008. Comparison of Soil Bacterial Communities Under Diverse Agricultural Land Management and Crop Production Practices. *Microbiological Ecology* 55:293–310.
- Yao S, Merwin IA, Bird GW, Abawi GS, Thies JE. 2005. Orchard floor management practices that maintain vegetative or biomass groundcover stimulate soil microbial activity and alter soil microbial community composition. *Plant Soil* 271(1):377–389.
- Yen, J.H., Chang, J.S., Huang, P.J., and Wang, Y.S. 2009. Effects of fungicides triadimefon and propiconazole on soil bacterial communities. *Journal of Environmental Science Health*. 44:681-689.
- Zak, D. R., W. E. Holmes, D. C. White, A. D. Peacock, and D. Tilman. 2003. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? *Ecology* 84:2042–2050.
- Zul, D., S. Denzel, A. Kotz, and J. Overmann. 2007. Effects of Plant Biomass, Plant Diversity, and Water Content on Bacterial Communities in Soil Lysimeters: Implications for the Determinants of Bacterial Diversity. *Applied and Environmental Microbiology*. 73 (21): 6916–6929.

## **CAPITULO II. ÍNDICES DE DIVERSIDAD EN LA MACROFAUNA DE DOS SITIOS DE GANADERIA CON ÁRBOLES FRUTALES Y FORESTALES**

### **RESUMEN**

La macrofauna edáfica es importante para la fertilidad y estructura física del suelo. La presencia de microorganismos tiene un impacto positivo, por ejemplo, la regulación de los nutrientes disponibles para las plantas, modificando el ambiente superficial y edáfico. Por lo anterior se contabilizó la macrofauna en dos sitios, uno donde se establecieron árboles forestales y otro con árboles frutales. Estos sitios estaban ubicados en la localidad de Loma Iguana Municipio de La Antigua, Ver. Los muestreos se realizaron en agosto del 2012 (Línea base) y agosto del 2014, se determinaron los índices de Shannon el cual nos permitió medir la diversidad de especies encontradas, con el índice de Simpson se midió la dominancia de una especie encontrada en los muestreos y Margalef nos indicó los índices de riqueza específica de cada uno de los tratamientos. Los grupos de muestreo se dividieron en lombrices, arañas, hormigas, termitas, coleópteros, isópodos, chilopodos, diplopodos y otros. En el predio con árboles frutales se observó en todos los tratamientos diversidad baja de acuerdo al índice de Shannon con un valor de 1, el índice de margalef tuvo un valor de 1.9. se obtuvo un incremento en cuanto a la riqueza de especies después de establecer los árboles frutales, este mismo comportamiento se presentó en las especies forestales, en el tratamiento orgánico es donde se presenta una tendencia al incremento en la biodiversidad de la macrofauna edáfica.

**Palabras clave:** fertilidad, muestreo, diversidad

# **INDICES OF DIVERSITY IN SOIL MACROFAUNA TWO AREAS OF LIVESTOCK WITH FRUIT TREES AND FOREST**

## **ABSTRACT**

The soil macrofauna is important for fertility and soil structure. The presence of microorganisms in the soil has a positive impact, for example, regulation of nutrients available to the plants, changing the surface and soil characteristics. Therefore macrofauna was recorded in two places, where they settled forest trees and other fruit trees. These sites were located in the town of iguana town of La Atigua, Ver. The samples were taken in August 2012 (Baseline) and August 2014, the indices of Shannon were determined which allowed us to measure the diversity of species found, with the index of Simpson dominance of the species found and he pointed index Margalef species richness of each of the treatments was measured. The sample groups were divided into worms, spiders, ants, termites, beetles, isopods, chilopods, Diplopoda and others. On site with fruit trees was observed in all treatments according to low diversity Shannon index with a value of 1. However margalef index was worth 1.9. an increase in terms of species richness after setting fruit trees, this same behavior occurred in forest species was obtained. The organic treatment is where an increasing trend comes in the biodiversity of the soil macrofauna.

**Keywords:** fertility, sampling, diversity.

## 2.1. INTRODUCCIÓN

La macrofauna del suelo o edáfica está constituida por organismos que pasan toda o una parte de su vida sobre y/o bajo la superficie inmediata del suelo, troncos podridos y hojarasca superficial en la que se incluyen invertebrados con un diámetro mayor a 2 mm (Brown *et al*, 2001). Estos organismos tienen un papel muy importante en la fertilidad y estructura física de los suelos, ya que algunos de ellos realizan actividades cuyo impacto es positivo, por ejemplo, la regulación de los nutrientes disponibles para las plantas con lo cual se modifica el ambiente superficial y edáfico donde éstas se desarrollan (Lavelle *et al*, 1994).

Diversos estudios demuestran que existe una interacción importante entre la vegetación y la macrofauna del suelo (Wardle *et al*, 2004, Bardgett *et al*, 2005). Las plantas modifican la abundancia y diversidad de fuentes orgánicas y microhabitats (Gastine *et al*, 2003). Por otro lado, la macrofauna edáfica, a través de su actividad, incrementa la descomposición de materia orgánica y libera nutrientes minerales que incrementa la disponibilidad de éstos para las plantas (Lavelle 1996, Cragg and Bardgett 2001, Rossi *et al*, 2006).

Sin embargo, hasta ahora la macrofauna asociada al suelo ha recibido relativamente poca atención, situación que se acentúa en el trópico, debido al cambio de uso de suelo cuya secuela es la disminución de la diversidad (Guiller *et al*, 1997, Pashanasi 2001). Por lo que probablemente la degradación física y química del suelo o pérdida de su estructura y fertilidad este muy relacionada con la reducción de las poblaciones de invertebrados (Lavelle 2002).

En los ecosistemas agrícolas desarrollados en los últimos años, para alcanzar altas producción, fue determinante la fertilización con grandes cantidades de agroquímicos, y se manejó bajo criterios de necesidad de nutrientes y eficiencia, olvidando que parte de ella está en función de los habitantes del suelo. Estas aplicaciones de agroquímicos han ido causando progresivamente graves problemas de degradación en los suelos, lo que a su vez produce pérdidas de la fauna edáfica y de esta manera se reducen sus principales actividades dentro del suelo.

La literatura señala que la fauna edáfica y su relación con la fertilidad del suelo deben de ser estudiadas para realizar un mejor uso del potencial de especies presentes en el suelo y de esta manera poder diseñar técnicas de manejo que permitan aumentar la productividad de manera sostenible. Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la diversidad de macrofauna edáfica presente en parcelas ganaderas con reciente incorporación de árboles frutales y maderables.

## **2.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en la localidad de loma iguana, municipio de la antigua, Ver. A N19° 14'15'' y W96° 19'15'' y a 20 metros sobre el nivel del mar. Las muestras se tomaron en dos predios ganaderos, donde se establecieron árboles frutales, chicozapote (*Manilkara zapotese*), naranja (*Citrus sinensis*), mango (*Mangifera indica*), guanábana (*Anona muricata*), limón persa (*Citrus latifolia*), aguacate (*Persea Americana*). en dos densidades de plantación de 8x14 m y

14x14 m en un predio, y maderables cedro (*Cedrela odorata L.*), caoba (*Swietenia macrophylla King.*), roble (*Ehretia tinifolia L.*) y primavera (*Tabebuia donnell-smithii Rose*)

### **Colecta de muestras y diseño experimental**

En el mes de Agosto de 2012 y 2014 se colectó macrofauna de suelo de acuerdo a la metodología recomendada por *Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF, IUBS/UNESCO) Programme* (Anderson and Ingram 1993). La cual consistió en una excavación de 25x25x30 cm en cada punto de muestreo. Los monolitos de suelo obtenidos se dividieron en cuatro estratos sucesivos (hojarasca, 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm). Los puntos de muestreo fueron elegidos al azar dentro de cada predio.

Las muestras de suelo se llevaron a las instalaciones del Campo Experimental Cotaxtla en bolsas de polietileno de 4 Kg. Para determinar la diversidad, se revisó cada muestra y se separó a los organismos en grupos de lombrices, arañas, hormigas, termitas, coleópteros, isópodos, chilopodos, diplopodos y otros. Para esto se utilizaron los índices de Shannon, Margalef y Simpson.

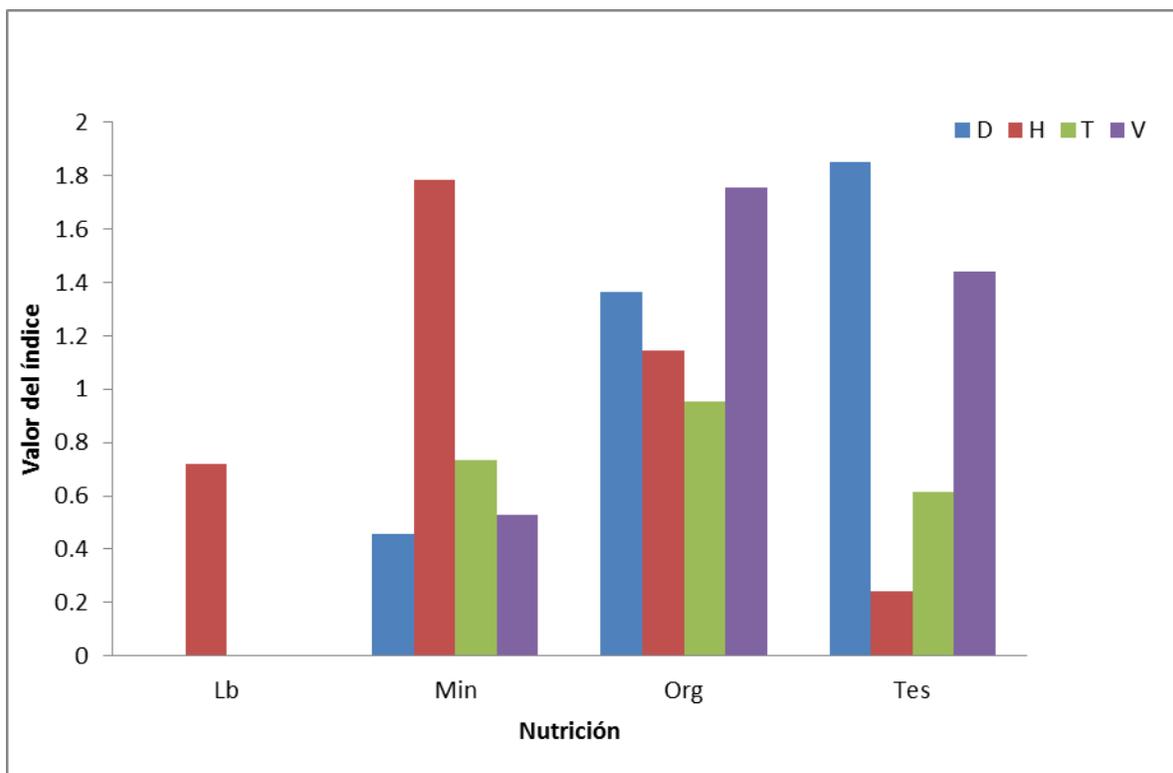
## **2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Árboles frutales**

#### **Índice de Margalef**

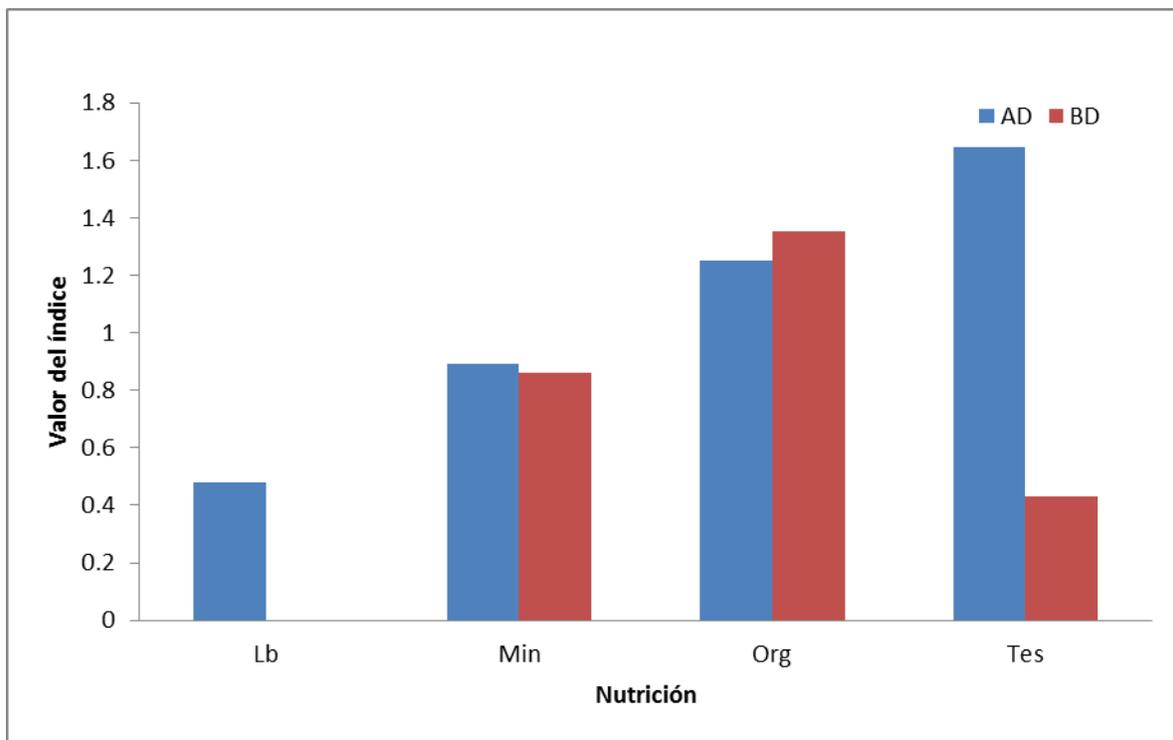
En la figura 5. Se observa el índice de Margalef en el cual se midió la riqueza específica de la macrofauna en cada uno de los tratamientos de acuerdo a la profundidad de muestreo. En los diversos tratamientos, la riqueza de las especies fue bajo ya que el índice se encuentra por debajo de 2, lo cual indica que la riqueza de cada uno de los tratamientos evaluados a las diferentes

profundidades es bajo, sin embargo si lo comparamos con la línea base (Lb) que se tomó en el año 2012, antes de establecer los tratamientos y las especies de árboles frutales, se puede notar que hubo un incremento en cuanto a la riqueza en las diferentes profundidades, siendo en el tratamiento orgánico en donde se notó más. La diversidad de la macrofauna edáfica no se ve influenciada por la diversidad de plantas, lo que concuerda con lo publicado por Viketoft *et al*, (2009) quienes señalan que al incrementar la diversidad vegetal no incrementa la diversidad de macrofauna del suelo, sin embargo estos autores argumentan que la macrofauna si se ve afectada por la biomasa de plantas.



**Figura 5. Índice de Margalef en predios ganaderos con árboles frutales, a tres profundidades de muestreo y tres tratamientos nutrimentales. (H=hojarasca D=10cm, V=20cm, T= 30Cm), (Lb= línea base, Min= Mineral, Org=orgánico y Tes=testigo).**

La Figura 6. Muestra el índice de Margalef en el cual se midió la riqueza específica de la macrofauna en cada uno de los tratamientos de acuerdo a la densidad de plantación. Se observa que en todos los tratamientos se obtuvo riqueza baja, ya que se encuentra por debajo de dos. Sin embargo en todos los tratamientos se mostró un incremento de la riqueza de especies con respecto a la línea base (Lb). En donde se aplicó fertilización orgánica se observa que la densidad de plantación no influyo en el aumento de la riqueza de especies, sin embargo en el testigo si se presentó un incremento en donde los árboles frutales se establecieron a alta densidad. Estudios sugieren que más que la diversidad de plantas, son las características fisiológicas de las plantas las que influyen en la diversidad de macrofauna edáfica (Viketoft *et al*, 2009).

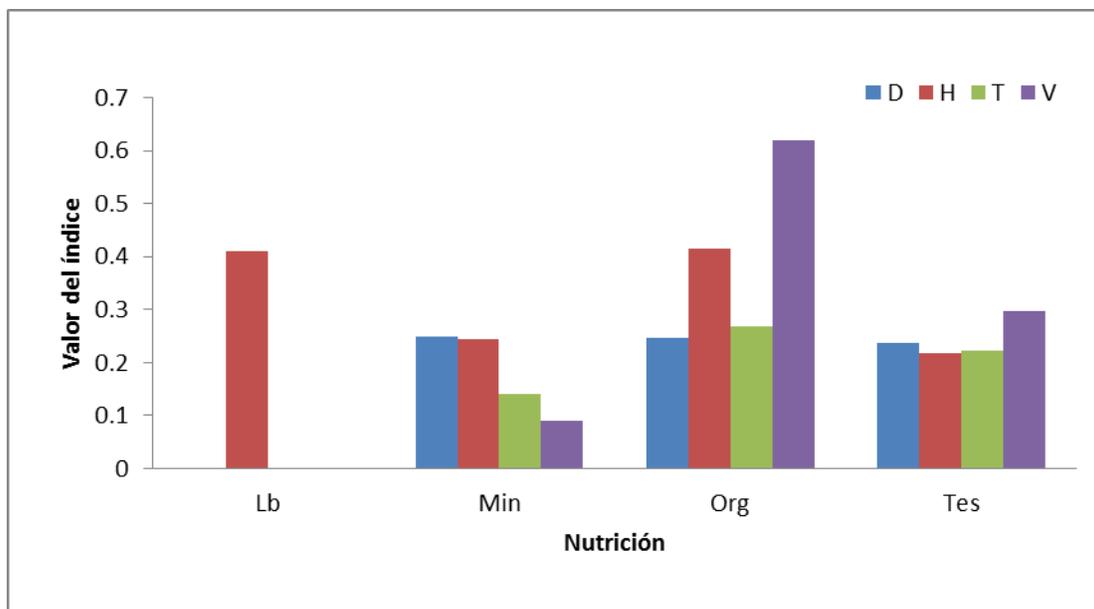


**Figura 6. Índice de Margalef en predios ganaderos con árboles frutales en dos densidades de plantación y tres tratamientos nutrimentales.** (AD=alta densidad y BD=baja densidad) (Lb= línea base, Min= Mineral, Org=orgánico y Tes=testigo).

## Índice de Simpson

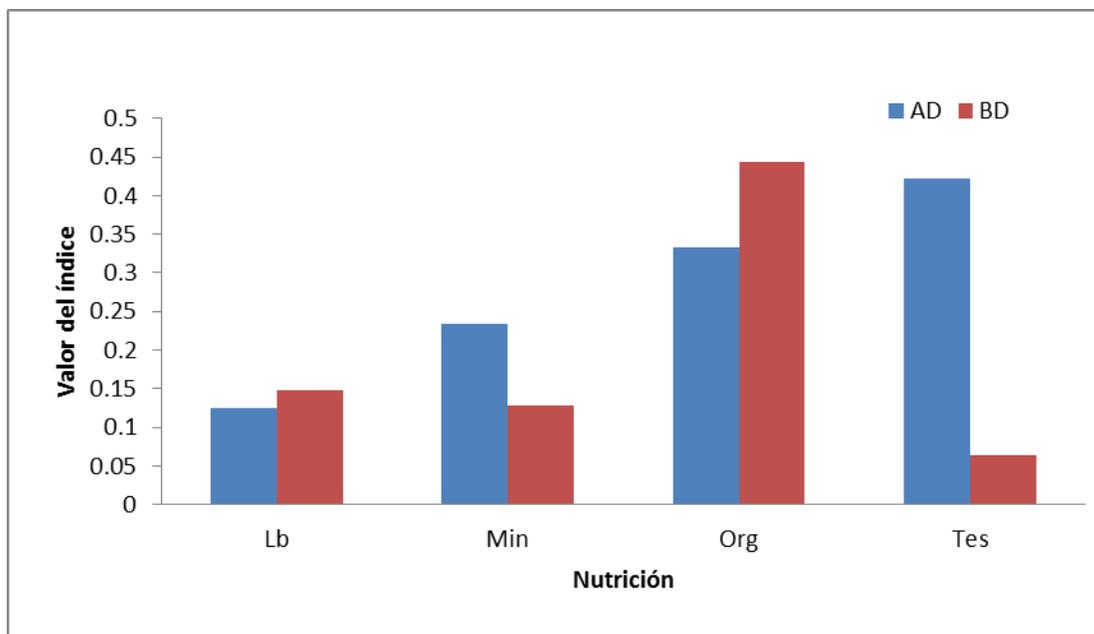
En lo que respecta al índice de Simpson, en el cual se midió el peso específico que tiene una especie de macrofauna en cada uno de los tratamientos de acuerdo a la profundidad de muestreo y tratamientos nutrimentales. Se muestra que el tratamiento orgánico presentó incremento cercano a 1, indicando que hubo una especie de las encontradas, que tuvo mayor peso específico, de acuerdo a este índice, ya que tiene rangos en la escala 0-1, que significa, que cero es la mínima diversidad posible, y 1 o aproximado a este valor, la máxima diversidad. Esta especie de mayor peso fue la lombriz, ya que se encontraron 15 lombrices en promedio a veinte centímetros de profundidad como se indica en la gráfica (Figura 7).

Sánchez y Hernández (2001), durante 4 años en parcelas de gramíneas asociadas con *Bauhinia purpurea* señalaron que la utilización del follaje ejerció un efecto positivo en la comunidad de la macrofauna del suelo, pues logró que en las parcelas donde se cortó y se depositó el 100 % del follaje la densidad superara en 1,61 veces la encontrada en las que no recibieron el material vegetal de la arbórea. Esto se puede tomar muy en cuenta ahora que se tienen establecidos en los terrenos evaluados una diversidad de especies de árboles sembradas lo cual con el tiempo puede incrementar la macrofauna presente.



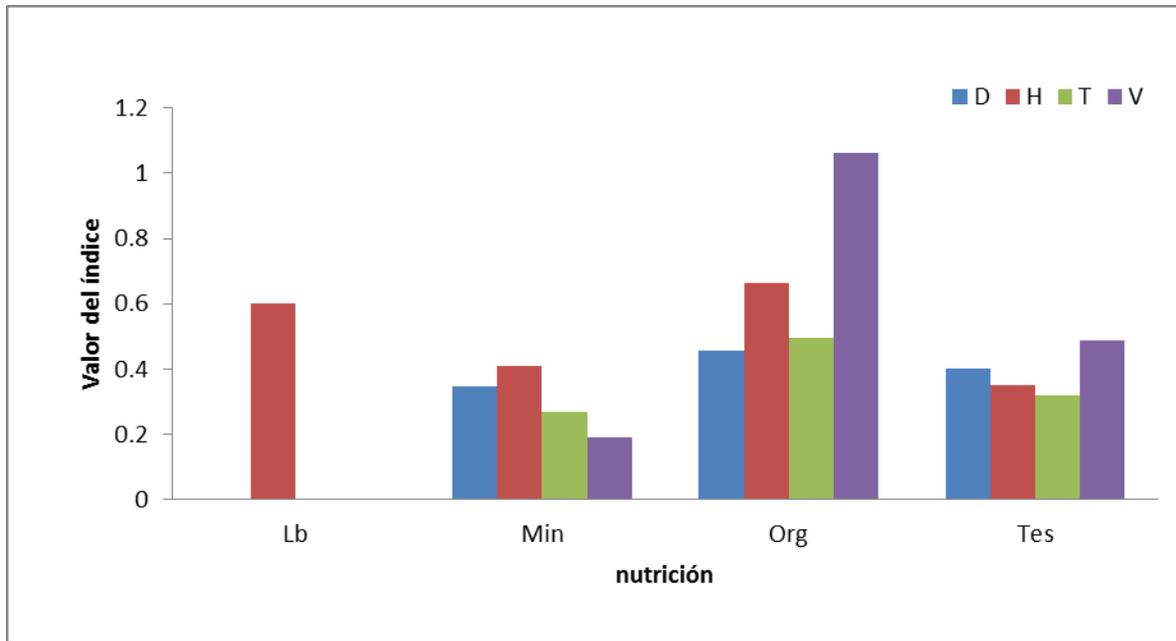
**Figura 7. Índice de Simpson en predios ganaderos con árboles frutales en tres profundidades de muestreo y tres tratamientos nutritivos.** (H=hojarasca D=10cm, V=20cm, T= 30Cm), (Lb= línea base, Min= Mineral, Org=orgánico y Tes=testigo).

Al evaluar el índice de Simpson, de acuerdo a la densidad de plantación y la nutrición, observa que el índice presentado en los tratamientos es bajo (figura 8). Al establecer los árboles frutales y aplicar fertilización orgánica después de dos años se ve un incremento cercano al 0.5, lo cual se puede interpretar que al hacer un cambio de uso de suelo el número de especies e individuos por especie se incrementa gradualmente. Esto indica que el aporte de materia orgánica al suelo no es el suficiente para cambiar las características del mismo y permitir un incremento en la presencia de organismos (Tohomas *et al*, 2004).



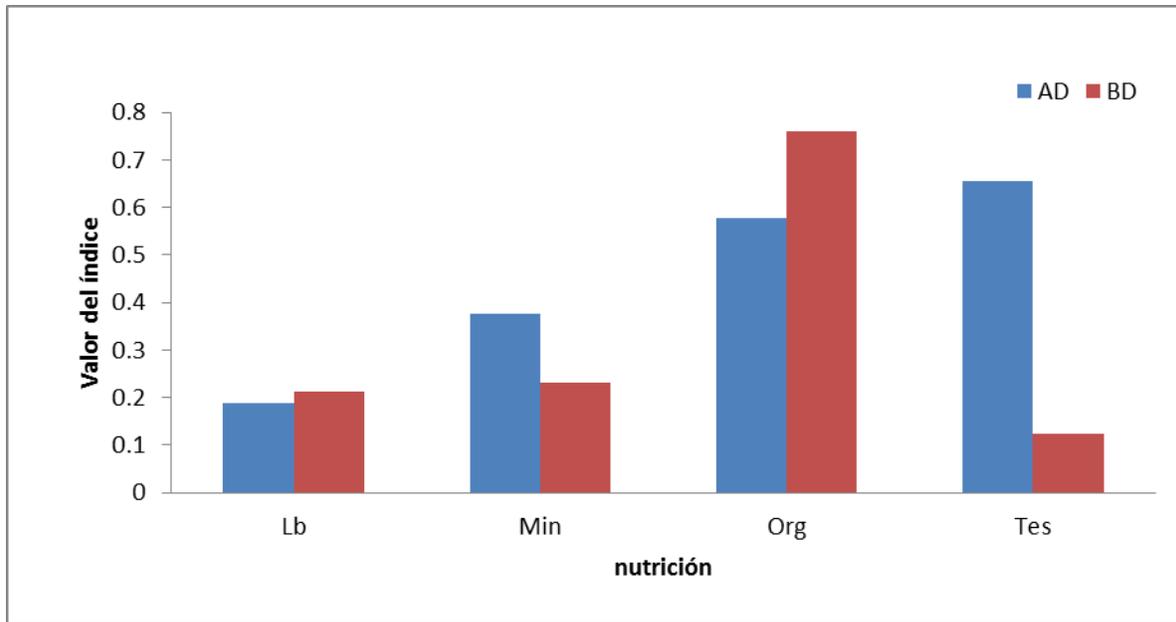
**Figura 8. Índice de Simpson en predios ganaderos con árboles frutales, en dos densidades de plantación y tres tratamientos nutrimentales.** (AD=alta densidad y BD=baja densidad) (Lb= línea base, Min= Mineral, Org=orgánico y Tes=testigo).

En los tratamientos donde se aplicó fertilización orgánica, en comparación con la línea base que se midió en el 2012, el índice de Shannon presenta mayor incremento en la profundidad de 20 cm y en la hojarasca, mientras que el tratamiento mineral se mostró por debajo de la línea base (Figura 9). Estudios realizados por Brown *et al*, (2001) sobre la diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales de México indican que se presentó un predominio de lombrices de tierra. Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con lo dicho por estos autores ya que la especie que más se presentó fueron las lombrices de tierra.



**Figura 9. Índice de Shannon en predios ganaderos con árboles frutales, en tres profundidades de suelo y tratamientos nutrimentales.** (H=hojarasca D=10cm, V=20cm, T=30Cm), (Lb= línea base, Min= Mineral, Org=orgánico y Tes=testigo).

Finalmente en los tratamientos de acuerdo a la densidad de plantación y tratamientos nutrimentales, el índice de Shannon presentado en los resultados es bajo de acuerdo al rango que maneja este índice, pero como se puede apreciar hubo un incremento en el tratamiento orgánico dos años después de establecidos los árboles frutales y aplicado la fertilización orgánica, comparado con el muestreo tomado como Lb en el año 2012 (Figura 10). En cuanto a la densidad de plantación los resultados se presentaron de manera similar en ambos tratamientos evaluados, lo cual puede afectar de igual forma la diversidad de macrofauna, debido a que el aporte de materia orgánica al suelo no es el suficiente para cambiar las características del mismo y permitir un incremento en la presencia de organismos (Thomas *et al*, 2004, King y With 2002).

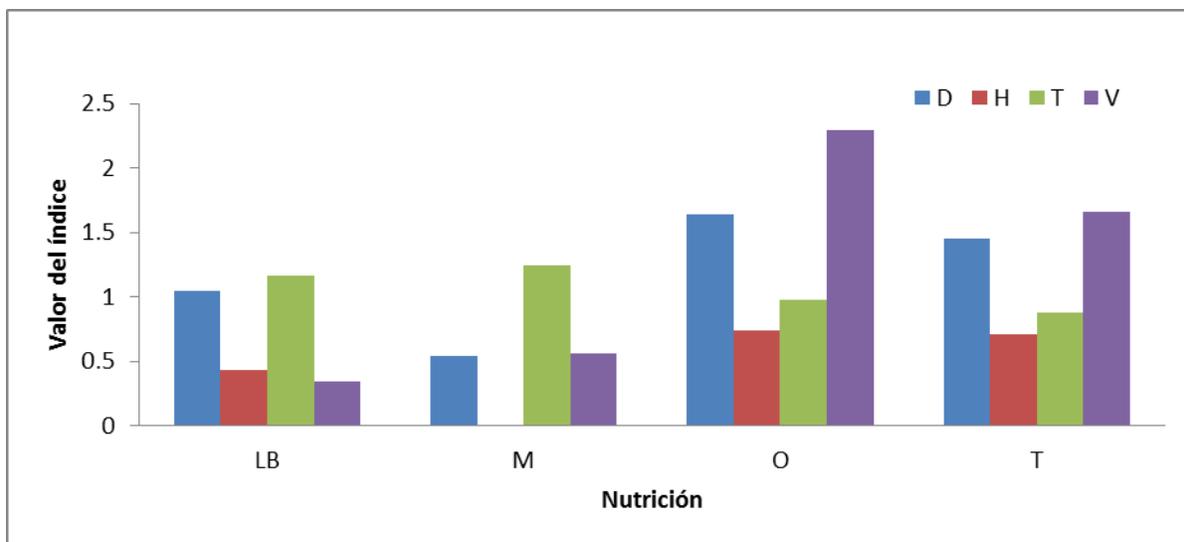


**Figura 10. Índice de Shannon en predios ganaderos con árboles frutales en dos densidades de plantación y tratamientos de nutrición.** (AD=alta densidad y BD=baja densidad) (Lb= línea base, Min= Mineral, Org=orgánico y Tes=testigo).

### Árboles maderables

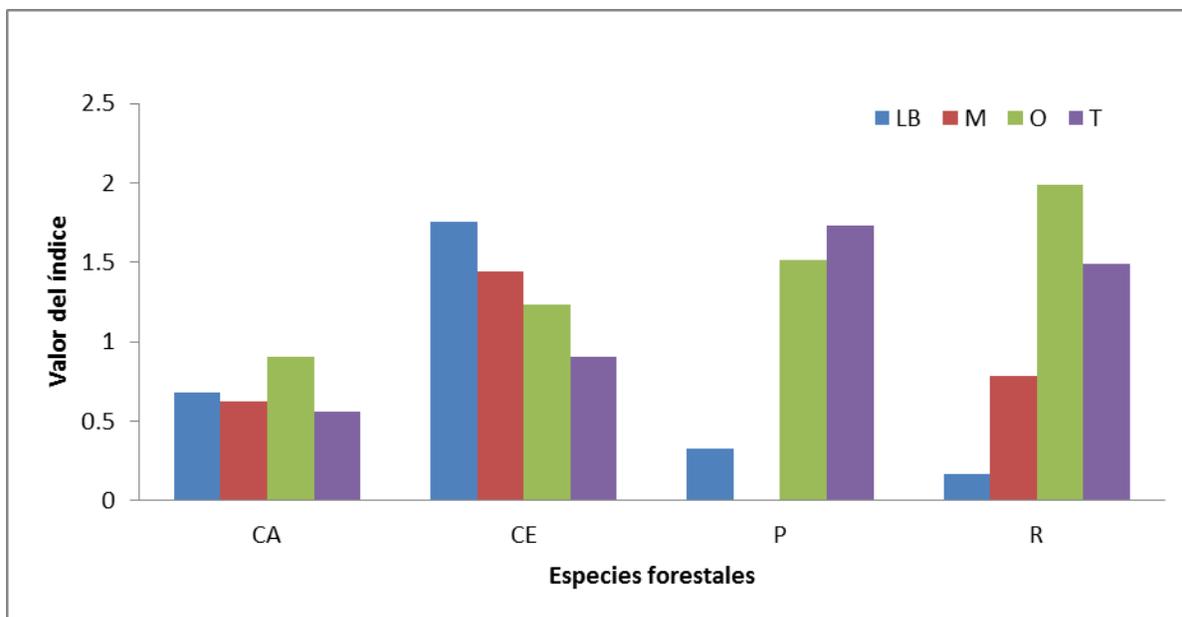
### Índice de Margalef

En lo que respecta al índice de Margalef en el cual se midió la riqueza específica de la macrofauna en cada una de las especies forestales evaluadas y de acuerdo a la profundidad de muestro que se utilizó en cada uno de los tratamientos, el tratamiento orgánico a 10 y a 20 cm se presentó un incremento en la riqueza específica, en comparación con la línea base, después de dos años de evaluación (Figura 11). Sin embargo la riqueza específica sigue siendo baja de acuerdo al índice, pues muestra valores menores de 2, identificando una diversidad baja (Moreno, 2001).



**Figura 11. Índice de Margalef en predios ganaderos con árboles maderables, diferente profundidad de suelo y tratamientos nutrimentales.** Lb= línea base, Min= Mineral, Org=orgánico y Tes=testigo), (H=hojarasca D=10cm, V=20cm, T= 30Cm).

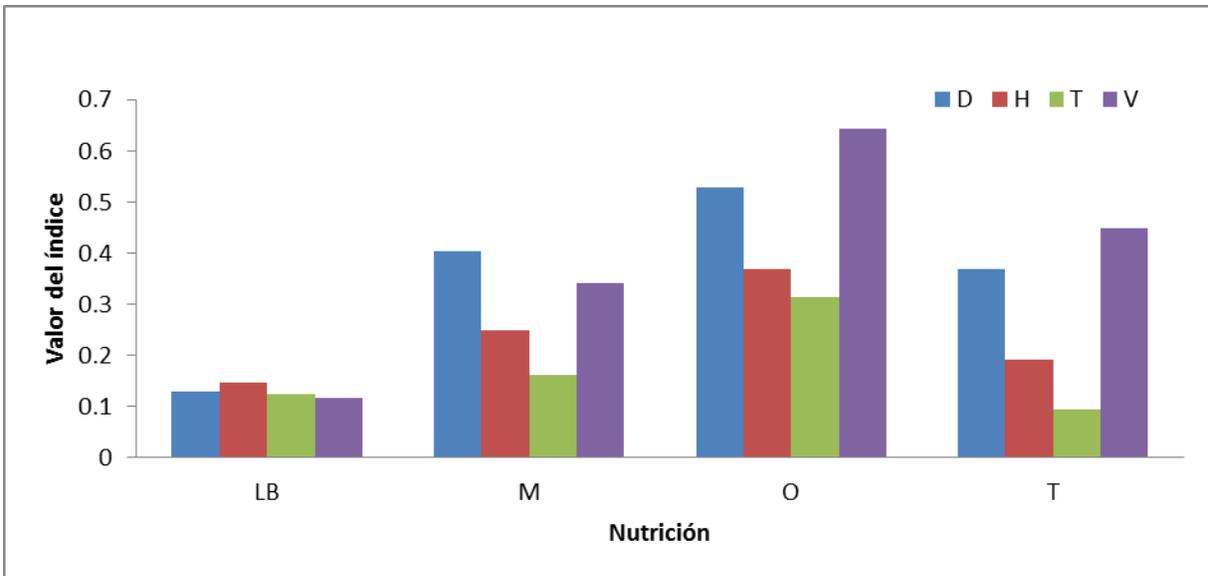
Por otra parte, de acuerdo a la densidad y nutrición que se utilizó en cada uno de los tratamientos, se observa que las especies forestales roble y primavera son las que presentan un incremento en la riqueza específica de macrofauna en comparación con la línea base. Caoba se comportó de manera similar a la línea base. En cuanto a la fertilización, solo en donde se plantó roble la fertilización orgánica es la que presento un incremento comparado con la línea base (Figura 12). Estos resultados concuerdan con lo dicho por Brown *et al*, en el 2001 donde menciona que las comunidades de la macrofauna de los agroecosistemas de labor (cultivos anuales) era muy pobre y contenía biomasa total mucho menores a los demás ecosistemas estudiados. El promedio de la biomasa total en agroecosistemas fue  $5.1 \text{ g m}^{-2}$ , mientras que en los bosques y las sabanas, la biomasa fue cuatro y siete veces mayor, respectivamente.



**Figura 12. Índice de Margalef en predios ganaderos con árboles forestales por densidad de población y tratamiento nutricional.** (Lb= línea base, Min= Mineral, Org=orgánico y Tes=testigo), (CA=caoba, CE=cedro, P=primavera y R=roble).

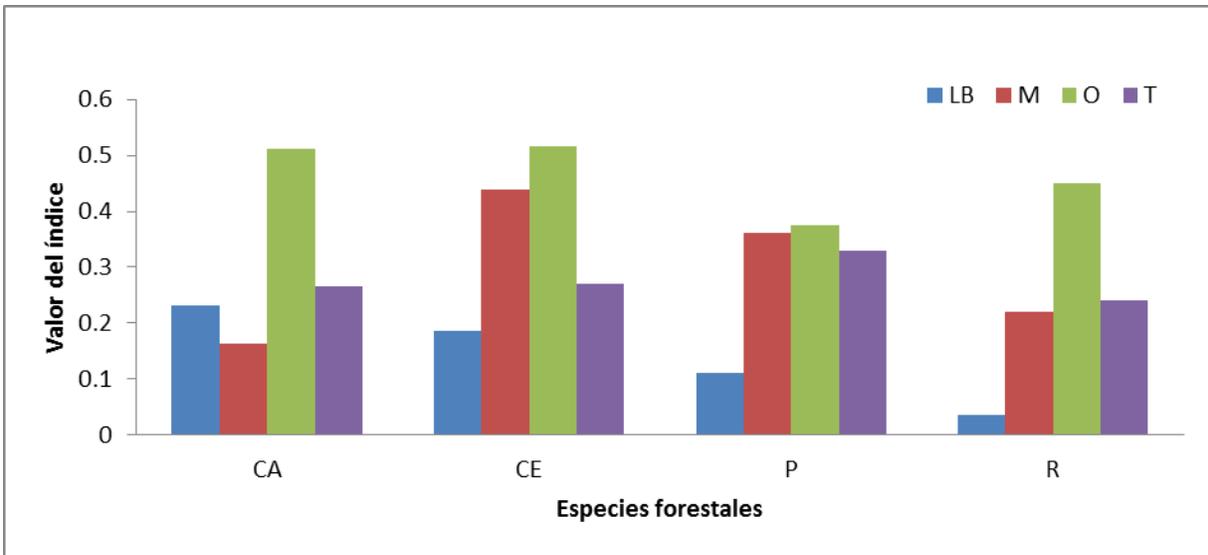
### Índice de Simpson

En lo que respecta al índice de Simpson, de acuerdo a las fuentes de fertilización y profundidad de muestreo, se presentó un incremento en el índice en comparación con la línea base, siendo la profundidad de 10 y 20 cm donde se presenta el mayor incremento (Figura 13), lo cual concuerda con Castro *et al*, (2007), ya que al estudiar la abundancia de organismos edáficos en praderas cultivadas con *Pennisetum clandestinum* y *Lolium multiformum*, y un bosque secundario, apreciaron mayor incremento de organismos en los estratos de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm, lo cual, lo atribuyen a que conforme aumenta la profundidad del suelo disminuye el contenido de oxígeno y de materia orgánica que proporciona el hábitat y alimento para ser desarrollados.



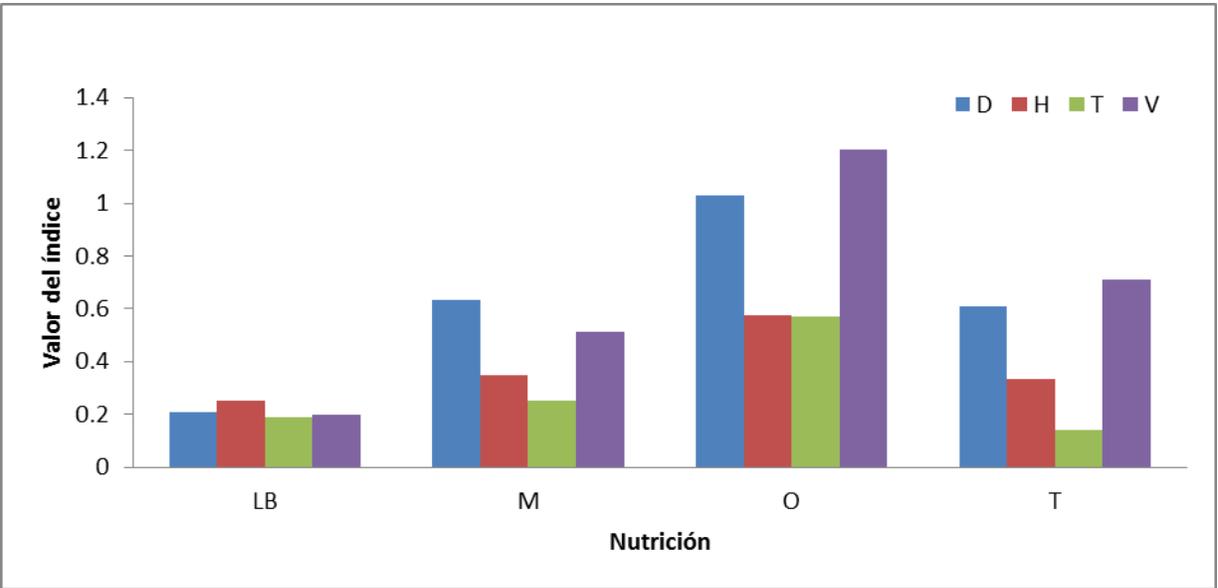
**Figura 13. Índice de Simpson en predios ganaderos con árboles maderables, distintas fuentes de nutrición y profundidad de suelo.** (Lb= línea base, Min= Mineral, Org=orgánico y Tes=testigo), (H=hojarasca D=10cm, V=20cm, T= 30Cm).

Al evaluar la densidad de población y fuente de fertilización utilizada se aprecia que las especies maderables se comportaron de la misma manera, solo en el tratamiento orgánico es donde se presenta una tendencia al incremento en cuanto al peso específico de la macrofauna edáfica con un incremento en comparación con la línea base y se aproxima hacia un índice de Simpson de uno el cual asigna mayor peso a una especie (Figura 14). La máxima diversidad, en este tipo de agroecosistema muestra que se obtuvieron valores menores del 1%, situación que se podría explicar a que únicamente el 10% de las especies de macrofauna habitan en suelos cultivados y el resto prefieren habitar en ambientes forestales de montañas, matorrales de zona seca o bosques tropicales húmedos y subhúmedos situados por debajo de los 500 metros de altitud (Morón *et al*, 1997).



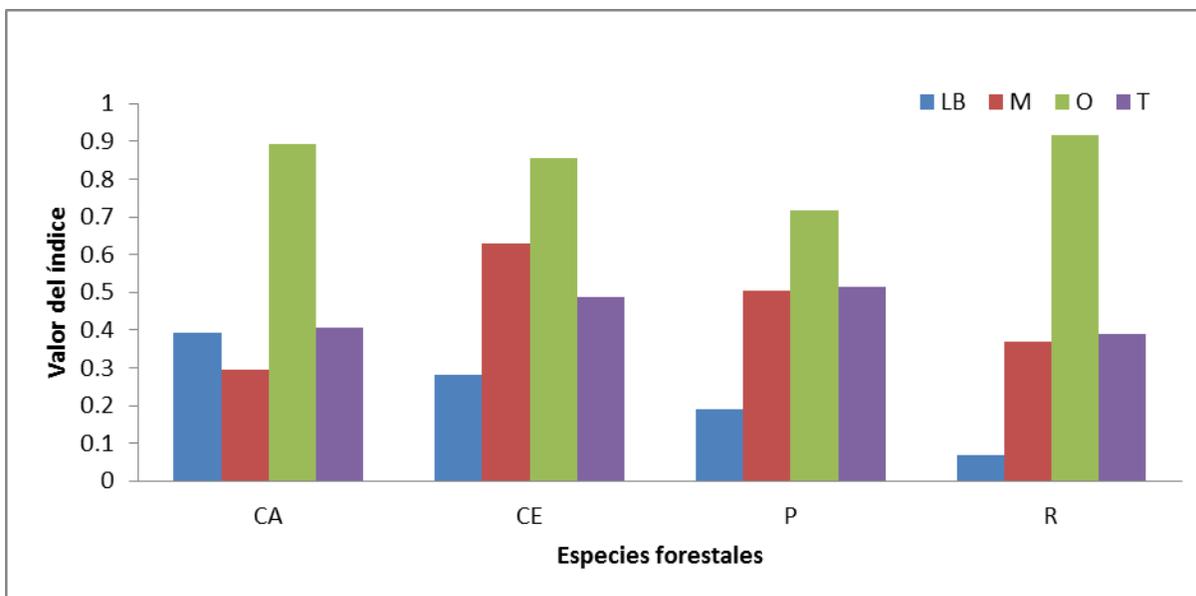
**Figura 14. Índice de Simpson en predios ganaderos con árboles forestales, con distintas densidades y fuentes de nutrición.** (Lb= línea base, Min= Mineral, Org=orgánico y Tes=testigo), (CA=caoba, CE=cedro, P=primavera y R=roble).

Finalmente el índice de Shannon de acuerdo a la fuente de fertilización y a la profundidad de muestreo utilizada. Se observa que en la fuente de fertilización orgánica se presentó un incremento en la diversidad de especies respecto a la línea base, siendo a la profundidad de 10 y 20 cm donde se ve más marcado el incremento, sin embargo sigue siendo un índice bajo (Figura 15) ya que Santa, *et al.* (2009), mencionan que si el índice de Shannon tiene un rango de 0-3 se considera una diversidad baja y 3-5 diversidad alta. La menor diversidad apreciada en árboles con fertilizante mineral, lo cual corrobora lo indicado por Sadej *et al.* (2008), quienes afirman que la adición constante de fertilizantes minerales propicia condiciones desfavorables para la supervivencia de la macrofauna edáfica.



**Figura 15. Índice de Shannon en predios ganaderos con árboles maderables, por fuente de nutrición y profundidad de suelo.** (Lb= línea base, Min= Mineral, Org=orgánico y Tes=testigo), (H=hojarasca D=10cm, V=20cm, T= 30Cm).

Finalmente de acuerdo a la fuente de fertilización utilizada, y como se muestra en la gráfica el incremento, con respecto a la línea base, se presentó en todas las especies forestales cuando se aplicó la fuente de fertilización orgánica, sin embargo el índice obtenido es muy bajo (Figura 16). Por otra parte, una menor población de macrofauna en sitios donde se aplicó fertilizante mineral, se puede deber a que, además de una menor disponibilidad de alimentos, la adición de fertilizantes nitrogenados, estimula la presencia de compuestos ácidos que obliga a algunas especies, principalmente lombrices, emigrar hacia otros sitios, tal como lo mencionan Edwards y Bohlen (1992), Momo y Falco (2003) y Sadejet *al*, (2008).



**Figura 16. Índice de Shannon en predios ganaderos con árboles maderables y distintas fuentes de nutrición.** (Lb= línea base, Min= Mineral, Org=orgánico y Tes=testigo), (CA=caoba, CE=cedro, P=primavera y R=roble).

## 2.4. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los índices de Shannon, Simpson y Margalef, la macrofauna edáfica se encuentra por debajo de los rangos del valor máximo de cada uno de ellos en el predio con árboles frutales. En la parcela donde se establecieron árboles maderables, existe una tendencia de incremento en los diferentes índices evaluados y el tratamiento con fuente de fertilización orgánica es el que presenta un incremento mayor con respecto a la línea base.

## 2.5. LITERATURA CITADA

- Bardgett, R. D., W. D. Bowman, R. Kaufmann, and S. K. Schmidt. 2005. A temporal approach to linking aboveground and belowground ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 20:634–641.
- Brown GG, Fragoso C, Barois L, Rojas P, Patrón JC, Bueno J, Moreno AG, Lavalle P, Ordaz V, Rodríguez C (2004) diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales Mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana*. Instituto de ecología A.C Xalapa, México. pp 68-79.
- Brown, G. G., C. Fragoso, I. Barios, P. Rojas, J. C. Patron, J. Bueno, A. G. Moreno, P. Lavelle, V. Ordaz y C. Rodríguez. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoologica Mexicana* 1:79-110.
- Castro, P. J. H.; Burbano, O. H.; Bonilla, C. C. R. 2007. Abundancia y biomasa de organismos edáficos en tres usos de terreno en el altiplano de Pasto, Colombia. *Acta Agronómica* 56: 127-130.
- Cragg, R. G., and R. D. Bardgett. 2001. How changes in soil faunal diversity and composition within a trophic group influence decomposition processes. *Soil Biol. Biochem* 33:2073–2081.
- Edwards, C. A.; Bolhen, P. J. 1992. Effects of toxic chemicals on earthworms. *Reviews of environmental contamination and toxicology* 125: 23-99.
- Gastine, A., M. Scherer-Lorenzen, and P. W. Leadley. 2003. No consistent effects of plants diversity on root biomass, soil biota and soil abiotic conditions in temperate grassland communities. *Applied Soil Ecology* 24:101–111.
- Giller, K. E., M. H. Beare, P. Lavelle, A-M. N. Izac, and M. J. Swift. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystems function. *Applied Soil Ecology* 6:3-16.
- King, A. W., and K. A. With. 2002. Dispersal success on spatially structured landscapes: when do spatial pattern and dispersal behavior really matter? *Ecol. Model.* 147:23–39.

- Lavelle, P. 2002. Functional domains in soils. *Ecological Research* 17:441-450.
- Lavelle, P., D. Bignell, and M. Lepage. 1996. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal Soil Biology* 33:159–193.
- Lavelle, P., M. Dangerfield, C. Fragoso, V. Eschenbrenner, D. Lopez-Hernandez, B. Pashanasi, and L. Brussaard. 1994. Pags. 137-168 *en* P. L. Woomer, and M. J. Swift, editors. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. *The Biological Management of Tropical Fertility*. Wiley-Sayce. USA.
- Momo, F. R.; Falco, L. B. 2003. Meso fauna del suelo. *Biología y ecología*. Pp 51-58. In: A. Albanesi, A. Enriquez, S. Luna, C. Kunst and R. Ledesma (Eds.). *Microbiología agrícola un aporte de investigación argentina*. Editorial de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. *M&T-Manuales y Tesis SEA*, Vol. 1. Zaragoza, España. 84 pp.
- Morón, M.A.; Ratcliffe, B.C.; Deloya, C. 1997. Atlas de los escarabajos de México. Volumen 1. Familia Melolonthidae. CONABIO y Sociedad Mexicana de Entomología, A. C. México.
- Pashanasi, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia peruana. *Folia Amazónica* 12:75-97.
- Rossi, J. P., J. Mathieu, M. Cooper, and M. Grimaldi. 2006. Soil macrofaunal biodiversity in Amazonian pastures: Matching sampling with patterns. *Soil Biology & Biochemistry* 38:2178-2187.
- Sadej, W.; Sadej, W.; Rozmyslowicz, R. 2008. Soil concentration of C and N shaped by long-term unidirectional fertilization versus noxious soil macrofauna. *J. Elementol* 13: 381-389.
- Sánchez, S. y Hernández, M. 2001. Efecto de la adición del follaje de *Bauhinia purpurea* en la macrofauna edáfica. *Pastos y Forrajes*. 24:41.

- Santa, J.N.N., T. García R. y G.D. Gómez M. 2009. Estructura y composición de la comunidad de orquídeas en dos zonas de la Reserva Natural “La montaña del Ocaso” Quimbaya, Quindo. *Invest. Univ. Quindo.* (19):122-134.
- Thomas, F., P. Folgarait, P. Lavelle, and J. P. Rossi. 2004. Soil macrofaunal communities along an abandoned rice field chronosequence in Northern Argentina. *Applied Soil Ecology* 27:23-29.
- Viketoft, M., J. Bengtsson, B. Sohlenius, M. P. Berg, O. Petchey, C. Palmborg, and K. Huss-Danell. 2009. Long-term effects of plant diversity and composition on soil nematode communities in model grasslands. *Ecology* 90:90–99.
- Wardle, D.A., R.D. Bardgett, J. N. Klironomos, H. Setälä, W. H. Van der Putten, and D. H. Wall. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304:1629–1633.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

El establecer especies forestales, así como frutales en parcelas que eran tradicionalmente utilizadas en la ganadería extensiva y de acuerdo a lo obtenido en esta investigación, en cuanto a la macrofauna edáfica y a los microorganismos (hongos y bacterias), se puede concluir que la utilización de estos sistemas en la ganadería ayuda a recuperar e incrementar la diversidad de especies de macrofauna en el suelo, además al utilizar este sistema de manejo se puede evitar en gran parte la simplificación del agroecosistema a solo tener pasto y ganado, sino incorporando árboles forestales o frutales. Pero lo anterior no se puede consolidar sin la participación de actores sociales de distintos niveles de decisión y la coordinación de instituciones para lograr su uso extensivo y apoyar este tipo de programas.