

EVALUACIÓN DE LA MACROFAUNA DEL SUELO ASOCIADA A DIFERENTES SISTEMAS CON CAFÉ *Coffea arabica* L.

EVALUATION OF THE MACROFAUNA OF THE SOIL ASSOCIATED TO DIFFERENT SYSTEMS WITH COFFEE *Coffea arabica* L.

Gilma Delgado¹, Aracely Burbano¹, Amanda Silva Parra²

Fecha de recepción: 8 de mayo de 2010 Fecha de aceptación: 14 de enero de 2010

RESUMEN

Se evaluó la macrofauna del suelo asociada a diferentes sistemas productivos de café: *Coffea arabica* L. en monocultivo, *C. arabica* y *Musa sapientum* L., *C. arabica* e *Inga edulis* L. y bosque en el municipio de San Pedro de Cartago, Departamento de Nariño localizado a 1° 32'21'' N y 77° 06'41'' W. El muestreo se hizo siguiendo la metodología del Tropical Soil Biología and Fertility Programe (TSBF) (Oliveira, 2000). La mayor abundancia de macrofauna se presentó en los usos bosque y *C. arabica* asociado con *M. sapientum*, seguidamente el sistema asociado de *C. arabica* con *I. edulis* y los menores porcentajes en el monocultivo con *C. arabica*. Los resultados indicaron que el bosque y el sistema agroforestal *C. arabica* e *I. edulis* presentaron una mayor diversidad y biomasa, a diferencia del sistema *C. arabica* en monocultivo, el cual determinó los niveles más bajos. Respecto a la distribución vertical se presentó mayor abundancia, riqueza y diversidad en el estrato de 0 a 10 cm, con 15 familias para un total de 4496 individuos por metro cuadrado (i.p.m²), y una diversidad que varío de 0,52 para el sistema *C. arabica* e *I. edulis* y 0,32 para *C. arabica* en monocultivo según el índice de Simpson.

Palabras clave: Abundancia, diversidad, distribución vertical

¹ Egresados de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, Colombia- E-mail: Safryara@gmail.com, Gil.delgado@gmail.com

² Ingeniera Agrónoma, M.Sc. Presidente de Tesis. Profesor catedrático. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, Colombia. E-mail: amanda.silvaparra@gmail.com

ABSTRACT

The study was carried in municipality of San Pedro De Cartago, Department of Nariño, located 1 ° 35'21''N and 77 ° 08'38''W. It investigation about a macrofauna of soil associated with different ways of production of *Coffea arabica*: *C. arabica* and *Musa sapientum*, *C. arabica* and *Inga edulis* L. and *C. arabica* and the forest. The sample did methodology the Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF) Oliveira, 2000. The higher abundance of macrofauna was found in the forest uses and *C. arabica* associated with *M. sapientum*, then the associated system of *C. arabica* with *Inga edulis*, the lowest percentages in the monocultivo *C. arabica*. The results indicated that the forest and the system agroforestal *C. arabica* and *I. edulis* they presented a main diversity and biomass, to difference of the system *C. arabica* in monocultivo which determined the lowest level. The *C. arabica* was different, because it found the lowest level. Respect to the vertical distribution most productivity and diversity in the level 0 to 10 cm, with 15 families that made 4496 i.p.m², and a diversity chagod of 0,52 the system *C. arabica* and *I. edulis* and 0,32 for *C. arabica* in according to Simpson.

Key words: macrofauna, abundance, richness, diversity, vertical distribution.

INTRODUCCIÓN

En Colombia se han transformado alrededor del 70% de los ecosistemas originales por actividades forestales y agropecuarias. Los ecosistemas son los responsables de los servicios ambientales tales como polinización, regulación hídrica, eliminación de la contaminación, reciclaje de nutrientes en los suelos, entre muchos otros. Cuando hay alteraciones de procesos ecológicos se reflejan cambios o pérdidas de estos servicios como la simplificación de redes tróficas, cambios en la estructura de la flora, microorganismos y macrofauna del suelo (Cenicafé, 2005).

Una simplificación de los ecosistemas causada por actividades humanas como la agricultura hace que los nuevos ecosistemas modificados no puedan proveer de todos los servicios que prestaba anteriormente afectando los procesos bases tales como la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes (Lavelle, 2001).

Los cafetales son un modelo que sirven para demostrar los efectos de la intensificación sobre la diversidad. Se han realizado estudios en agroecosistemas cafeteros a libre exposición y bajo sombrío sobre temas de descomposición, abundancia de grupos funcionales de macrofauna. Estos cambios podrían influir la disponibilidad de nutrientes y la funcionalidad del suelo, afectando drásticamente el hábitat de las comunidades de los macro invertebrados del suelo (Cenicafé, 2005).

La producción de café en Colombia y en la zona Norte del Departamento de Nariño por efecto de la revolución verde la cual pretendía mejorar la productividad de los cafetales utilizando variedades mejoradas, mayor uso de agroquímicos, mayor densidad de siembra, eliminación total de árboles de sombra generó varios impactos negativos entre los cuales se pueden mencionar erosión del suelo, pérdida gradual de la materia orgánica y cobertura de la hojarasca proveniente de los árboles de sombra (Bermudez, 1980), un

menor aporte de nutrientes al café por la falta de descomposición de esta misma hojarasca, cambios en el microclima del cafetal (Cardona y Siavosh, 2005), originando una menor diversidad funcional de organismos en los suelos (Scullion *et al.*, 2002; Monterrey *et al.*, 2001; Cenicafé, 2005), disminuyendo la sostenibilidad del sistema y la calidad de los suelos (Cenicafé, 2005).

En la última década la diversidad de los diferentes sistemas de producción han sido un tema de preocupación debido a los cambios en los ecosistemas por acciones realizadas por el hombre con actividades agrícolas, pecuarias y forestales (Lavelle, 2000). Las cuales ocasionan grandes alteraciones en los procesos de la configuración del hábitat de los organismos que se desarrollan en ese medio, forjando así, efectos negativos en la diversidad de la macrofauna, y perturbando el buen funcionamiento del suelo (Zerbino *et al.*, 2007).

Estudios sobre la acción de la macrofauna mostraron que la estructura de los macroinvertebrados fue más compleja en ambientes edáficos mejor conservados o estructurados presentándose una mayor diversidad y abundancia de grupos depredadores, además, sustentaron la importancia ecológica de la costumbre de los agricultores de dejar descansar suelos que muestran síntomas de infertilidad (Sevilla *et al.*, 2002).

Con base en lo anterior se evaluó la macrofauna del suelo asociada con diferentes sistemas de producción asociados con café (monocultivo de *C. arabica*, *C. arabica* con *I. edulis*, *C. arabica* con *M. sapientum* y bosque) en las variables abundancia, riqueza, diversidad, distribución vertical, similitud y biomasa para contribuir al conocimiento científico de sistemas más sostenibles como indicadores de calidad de los suelos y los ecosistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el municipio de San Pedro de Cartago, departamento de Nariño, en la vereda el Salado, localizada a 1° 32' 21'' N y 77° 06' 41'' W, perteneciendo a una clasificación climática que corresponde a bosque muy húmedo premontano (bmh-PM), con una altura de 1000 y 2000 msnm, una precipitación promedio anual de 2000 a 4000 mm, una temperatura promedio de 18°C (IGAC, 1996).

El área de estudio fue de 3120 ha de las cuales 2450 están dedicadas a la caficultura y 300 ha dedicadas a la ganadería (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2009).

Son suelos Andisoles que pertenecen al sub grupo (*Typic dystrandept*) con altos contenidos de materia orgánica, van de profundos a superficiales bien drenados, buena retención de humedad, textura franco gruesa y franco gruesa sobre arcillosa fina, color en húmedo negro, textura al tacto franca y franco arenosa, susceptibles a compactarse, abundante actividad de microorganismos, raíces abundantes, pH 4.5, material parental proveniente de cenizas y arenas volcánicas, encontrados en un relieve fuertemente ondulado y quebrado con pendientes que varían entre un 25 a 50% (IGAC, 1996).

En la evaluación de la macrofauna se obtuvieron muestras al azar de diferentes sitios en los usos del suelo: Monocultivo *C. arabica*. Este sistema tiene una área de 2 ha, el cual tiene unas distancias de siembra de 120 cm. entre plantas y 130 cm entre surcos, como también una renovación por soca de 3 años y se realizan actividades de labranza mínima y aplicación de agroquímicos cada 3 a 4 meses, por otra parte la producción de hojarasca de este sistema varía entre 6 y 7 t.ha⁻¹.

El sistema agroforestal *C. arabiga* y *I. edulis*. Este sistema tiene una área de tres ha, el cual tiene unas distancias de siembra de *C. arabiga*, de 120 cm. entre plantas y 130 cm entre surcos con árboles dispersos de *I. edulis*, esta es una renovación por siembra de 2 años en donde se realizan actividades de labranza mínima cada siete a ocho meses, la producción de hojarasca esta alrededor de 15 t.ha⁻¹.

El sistema en asocio *C. arabiga* y *M. sapientum*, Este sistema tiene una área de 2.5 ha, es una renovación por siembran de 2 años el cual tiene unas distancias de siembra de *C. arabiga*, de 130 cm. entre plantas y 150 cm entre surcos asociado con plátano dispersos en el cultivo, se realizan labores de labranza mínima y aplicación moderada de agroquímicos, la producción de hojarasca oscila entre seis y siete t.ha⁻¹.

El sistema bosque se encontraba conformado por diferentes especies nativas.

Para el muestreo se utilizó la metodología del Programa Tropical Soil Biology and Fertility modificada (TSBF) (Oliveira, 2000; Fernandez, *et al.*, 2000; Correia, *et al.*, 2000). Donde se seleccionaron tres repeticiones de cada uso del suelo, y en cada una se obtuvo un monolito (Pardo *et al.*, 2006). Cada monolito presentó un área de 0.0625 m², y una altura de 30 cm., el cual se dividió en cuatro estratos: mantillo, de 0 a 10 cm., 10 a 20 cm., de 20 a 30 cm. (Bonilla *et al.*, 2007). Posteriormente se procedió a recolectar y ubicar minuciosamente con la ayuda de pinzas la macrofauna existente en cada estrato, en un recipiente con alcohol al (70%) y las lombrices en formol al (5%), etiquetada previamente por estratos y usos, los organismos obtenidos manualmente se contabilizaron y pesaron para ser identificados hasta nivel de familia en los Laboratorios

especializados de Entomología perteneciente a La Universidad de Nariño.

Los datos se transformaron con la fórmula $\sqrt{y+0.5}$ (Steel y Torrie, 1992). Se realizó un análisis de varianza (Stiles, 2000); y se utilizó pruebas de comparación de medias de Tukey para abundancia, riqueza, diversidad, similitud y biomasa por uso y estrato en la macrofauna del suelo de la siguiente manera:

Abundancia. Se midió la contribución del número de individuos de cada especie en el total y tabulado como frecuencia.

Riqueza. Se expresó como el número de especies en una comunidad, presentes en cada área.

Diversidad. Se midió de acuerdo al Índice de Simpson = $D_s = 1 - \sum(n_i - 1) / N - 1$, siendo n_i la proporción del número de individuos de la especie i menos 1 con respecto a N o número total de individuos menos 1. Es un índice estructural de dominancia, pudiéndose calcular la diversidad.

Similitud. Entre los sistemas estudiados, se obtuvo el coeficiente de Jaccard (C), que se basa en la relación presencia-ausencia entre el número de especies en cada sistema y el total de especies $C_j = C / (A + B - C)$; Donde C número de especies comunes a ambos sistemas; A número de especies encontradas en el sistema A; B número de especies encontradas en el sistema B.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Abundancia. El número de individuos, en los cuatro usos fueron de 15663 individuos por metro cuadrado (i.p.m²), los valores más altos están representados por el bosque con 6112

i.p.m² donde predominaron principalmente los órdenes Aranea, Oligochaeta, Coleoptera, Blataria, Diptera, seguido por el uso *C. arabiga* en asocio con *M.sapientum* con 3696 i.p.m² con predominancia de los órdenes Dermaptera, Coleoptera, Aranea, Diptera, seguidamente el sistema de *C. arabiga* asociado con *I. edulis* el cual presentó 3552 i.p.m², finalmente en el monocultivo *C. arabiga*, solo se encontraron 2303 i.p.m² con predominancia de los órdenes Aranea y Coleoptera, sistema que se consolidó como el de menor abundancia (Tabla 1).

El análisis de varianza para la variable abundancia de macrofauna mostró diferencias es-

tadísticas significativas ($p < 0.05$) para usos, sin embargo no se encontraron diferencias estadísticas para estratos y su interacción.

La prueba de comparación de medias (Tabla 2) indica que el sistema bosque, sistemas *C. arabiga* e *I. edulis* y *C. arabiga* y *M. sapientum*, presentaron diferencias estadísticas significativas a una ($p < 0.05$) frente al monocultivo de *C. arabiga*, evidenciando así que las comunidades de macrofauna presentes en los diferentes sistemas de uso del suelo están determinadas por la disposición de recursos para su supervivencia, y la modificación del suelo para desarrollar actividades agrícolas (Lavelle, 2001).

Tabla 1. Abundancia (Nº de individuos m²) de los órdenes de macrofauna asociada a sistemas con *Coffea arabiga* y bosque, San Pedro de Cartago Nariño, 2010

| ÓRDENES | Monocultivo de <i>C. arabiga</i> L. | | Sistema <i>C. arabiga</i> , <i>I. edulis</i> L. | | <i>C. arabiga</i> L. asociado con <i>M. sapientum</i> L. | | Bosque | | TOTAL Nº i.p.m ² |
|----------------------|-------------------------------------|------------|---|------------|--|------------|-----------------------|------------|--------------------------------|
| | Nº i.p.m ² | % | Nº i.p.m ² | % | Nº i.p.m ² | % | Nº i.p.m ² | % | |
| Araneae | 176 | 7,64 | 320 | 9,01 | 0 | 0,00 | 128 | 2,09 | 624 |
| Blataria | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 416 | 6,81 | 416 |
| Coleoptero | 723 | 31,4 | 1216 | 34,2 | 1696 | 45,8 | 2160 | 35,3 | 5795 |
| Diptera | 0 | 0,00 | 128 | 3,60 | 384 | 10,4 | 672 | 10,9 | 1184 |
| Dermaptera | 0 | 0,00 | 48 | 1,35 | 176 | 4,76 | 0 | 0,00 | 224 |
| Himenoptera | 128 | 5,56 | 640 | 18,0 | 272 | 7,36 | 0 | 0,00 | 1040 |
| Isopoda | 48 | 2,08 | 224 | 6,31 | 128 | 3,46 | 0 | 0,00 | 400 |
| Lepidoptero | 0 | 0,00 | 48 | 1,35 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 48 |
| Oligochaeta | 1180 | 51,2 | 928 | 26,1 | 976 | 26,4 | 1136 | 18,6 | 4220 |
| Onychophora (Phylum) | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 96 | 1,57 | 96 |
| Phasmida | 48 | 2,08 | 0 | 0,00 | 64 | 1,73 | 80 | 1,31 | 192 |
| Psocoptera | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 288 | 4,71 | 288 |
| Spirobolida | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 1136 | 18,6 | 1136 |
| TOTAL | 2303 | 100 | 3552 | 100 | 3696 | 100 | 6112 | 100 | 15663 |

Tabla 2. Pruebas de comparación de medias de Tukey para la variable abundancia de macrofauna asociada a sistemas con *C. arabiga* y bosque, San Pedro de Cartago Nariño, 2010

| Prueba de comparación de medias Tukey para macrofauna del suelo asociados a sistemas con <i>C. arabiga</i> L., municipio de San Pedro de Cartago, Nariño, 2010 | | |
|--|-----------------|--|
| | Promedios | Uso |
| a | 21.380 (381.67) | Bosque |
| ba | 16.898 (380.00) | Sistema Agroforestal <i>C. arabiga</i> L. y <i>I edulis</i> L. |
| ba | 16.646 (280.50) | <i>C. arabiga</i> L., asociado con <i>M. sapientum</i> L. |
| b | 12.609 (258.67) | monocultivo de <i>C. arabiga</i> L. |

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas
 Madias transformadas $\sqrt{y+0.5}$ (Medias originales)

Los sistemas de producción en monocultivo han disminuido el número de individuos en la comunidades de macrofauna como resultado del control intensivo de malezas con herbicidas y la eliminación de árboles de sombra para elevar su área de producción (Baca *et al.*, 2002). Según Cardoso *et al.* (2003), la cobertura arbórea provee a los sistemas agroforestales, hojarasca y ramas las cuales son la base de nutrientes y energía de los organismos del suelo y la sombra los protege de los cambios bruscos de temperatura presentando una mayor cantidad de organismos en comparación con sistema de *C. arabiga* L. en monocultivo.

Según Spain *et al.*, (2001), la macrofauna colectada en ecosistemas naturales y manejados puede ser diferente en cada sistema, donde la abundancia y diversidad de la fauna del suelo puede ayudar a asegurar un eficiente reciclaje de nutrientes y un rápido crecimiento de las plantas, como también la alta diversidad de poblaciones de macrofauna encontrados en los sistemas agroforestales son de gran importancia benéfica sobre los suelos principalmente por que ayudan

a acelerar la descomposición de los diferentes residuos del suelo.

Riqueza. Los sistemas con el mayor número de familias por metro cuadrado fueron el bosque con 15 familias, los órdenes característicos en este sistema son: orden Coleoptera con cinco familias Chrysomelidae, Curculionidae, Ptilodactylidae, Scarabaeidae, Coccinellidae; Diptera con dos familias Asilidae y Stratyomidae; Araneae con dos familias Salticidae y Solifuga; seguido del sistema *C. arabiga e I. edulis*, con 11 familias representado por el orden Coleoptera con dos familias Ptilodactylidae y Scarabaeidae, Araneae con dos familias Salticidae y Solifuga; finalmente el sistema monocultivo de *C. arabiga*, con 7 familias representados por el orden Coleoptera con la familia Scarabaeidae; y Oligochaeta con la familia Lumbricidae (Tabla 3).

El analisis de varianza para la variable riqueza indicó diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para usos, diferencias significativas ($p < 0.05$) para estratos, no existiendo diferencias significativas para la interacción uso*suelo.

Tabla 3. Orden y familia de macrofauna asociada a sistemas con *C. arabiga* y bosque, San Pedro de Cartago Nariño, 2010

| | ORDEN | FAMILIA | | ORDEN | FAMILIA |
|---|-------------|-----------------|----------------------------|-------------|------------------|
| Monocultivo de <i>C. arabiga</i> | Coleoptera | Scarabaeidae | Bosque | Araneae | Solifuga |
| | Araneae | Tetragnatidae | | | Salticidae |
| | | Salticidae | | Blataria | Blattellidae |
| | Isopoda | Porcellionidae | | Coleoptera | Scarabaeidae |
| | Oligochaeta | Lumbricidae | | | Ptilodactylladae |
| | Phasmida | Bacunculidae | | | Crysolmelidae |
| | Himenóptera | Formicidae | | | Curculionidae |
| | | | | | Coccinellidae |
| | | | | Diptera | Stratyomidae |
| <i>C. arabiga - I. edulis</i> | Araneae | Solifuga | | | Asilidae |
| | | Salticidae | | Oligochaeta | Lumbricidae |
| | Coleoptera | Ptilodactylidae | | Onychophora | |
| | | Scarabaeidae | | (phylum) | Peripatidae |
| | Dermaptera | Forficulidae | | Phasmida | Bacunculidae |
| | Diptera | Culicidae | | Psocóptera | Nn |
| | Himenoptera | Formicidae | | Spirobolida | Rhinocricidae |
| | | Sphecidae | | | |
| | | | <i>C. arabiga</i> | | |
| | | | <i>M. sapientum</i> | | |
| | Isopoda | Porcellionidae | | Coleoptera | Ptilodactylidae |
| | Lepidoptera | Gelechiidae | | | Scarabaeidae |
| | Oligochaeta | Lumbricidae | | Dermiptera | Forficulidae |
| | | | | Diptera | Culicidae |
| | | | | Himenoptera | Formicidae |
| | | | | | Chalcididae |
| | | | | Isopoda | Porcellionidae |
| | | | | Oligochaeta | Lumbricidae |
| | | | | Phasmida | Bacunculidae |

La prueba de comparación de medias para estratos (Tabla 4), indica que el estrato de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm y mantillo, presentaron diferencias estadísticas significativas frente al estrato 20 a 30 cm, donde se presentaron los valores más bajos de riqueza, a medida que se profundiza en el perfil del suelo disminuye el contenido de oxígeno y de materia orgánica que proporciona el hábitat y alimento para

desarrollarse (Pardo *et al.*, 2006), sin embargo el estrato con mejores resultados fue 0 a 10 cm, de profundidad, dicho comportamiento puede estar relacionado con el suelo que se forma por la adición de hojarasca o follaje; la presencia del árbol en los sistemas hace que la temperaturas disminuyan en comparación a los terrenos abiertos, constituyéndose en alternativas para lograr la colonización (Lavelle, 2001).

Tabla 4. Pruebas de comparación de medias Tukey para la variable Riqueza de macrofauna asociada con sistemas de *C. arabica* y bosque en 4 estratos del suelo, San Pedro de Cartago, departamento de Nariño, 2010

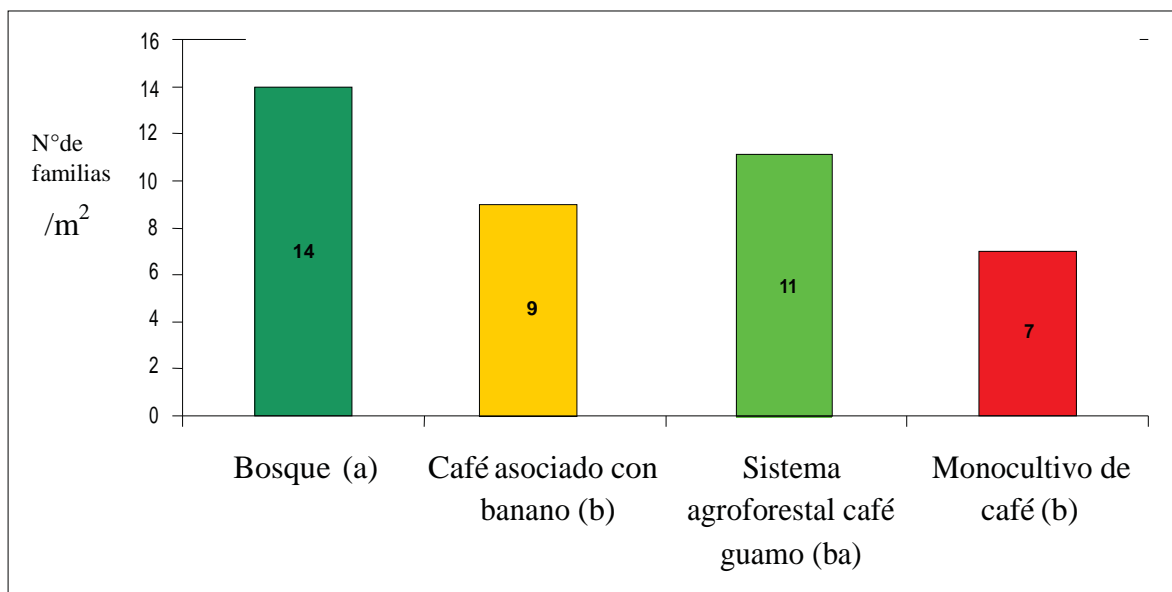
| Prueba de comparación de medias Tukey para estratos en San Pedro de Cartago Nariño 2010 | | |
|---|---------------|----------|
| | Promedios | Estratos |
| a | 2.0211 (3.75) | 0-10 cm |
| ab | 1.9182 (3.33) | 10-20 cm |
| ba | 1.8160 (2,80) | Mantillo |
| b | 1.5983 (2,17) | 20-30 cm |

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas
 Medias transformadas $y+0.5$ (Medias originales)

La prueba de comparación de medias para usos (Fig. 1) indica que los sistemas bosque y *C. arabica* e *Inga edulis*, presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) frente al sistema *C. arabica* asociado con *M. sapientum* y monocultivo de *C. arabica*.

Indicando que la riqueza de especies es más alta en el bosque y en los sistemas agroforestales que en sistemas de producción sin presencia de árboles, gracias a la diversidad de la vegetación, la disponibilidad de alimento para las especies, la compleja estructura de la vegetación que provee

Figura 1: Riqueza de familias (No de familias/m²) de macrofauna asociada a sistemas de *C. arabica* y bosque, San Pedro de Cartago, departamento de Nariño, 2010



Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas.

sitios de hábitat y brinda mejor protección que en sistemas agropecuarios más simples, varios autores señalan que los sistemas agroforestales contienen una mayor y más compleja comunidad de invertebrados (50-90%), que las praderas sin la presencia de árboles, lo cual contribuye a explicar una mayor diversidad (Dennis, 2001).

Por otra parte se ha demostrado que la eliminación de la sombra en los sistemas de producción genera impactos negativos en el hábitat de las diferentes especies de la macrofauna disminuyendo su diversidad debido a la falta de cobertura la cual le brinda alimento y un mejor microclima para su estabilidad (Montenegro, 2005).

Diversidad. Los sistemas bosque y *C. arabica*, con *I. edulis*, indicaron mayor diversidad (0,47 y 0,52) respectivamente, representados por el orden Coleoptera con las familias Ptilodactylidae, Scarabaeidae, Coccinellidae y Crysomelidae a diferencia del sistema monocultivos de café el cual posee los valores más bajos con (0,32) representados por el orden Coleoptera con la familia (Scarabaeidae) y el orden oligochaeta con la familia (Lumbricidae) según el índice de Simpson.

El análisis de varianza para la variable diversidad de macrofauna indicó diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para usos, no existiendo diferencias significativas para la interacción uso*suelo y estratos.

La prueba de comparación de medias para usos (Tabla 5), indica que el sistema *C. arabica* y *M. sapientum* y monocultivo de café, presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) frente al sistema *C. arabica* e *I. edulis*, y bosque, donde se presentaron los mayores valores de diversidad, los sistemas agroforestales con *C. arabica* y el bosque han demostrado tener un papel importante en la conservación de diversidad biológica en paisajes agrícolas. Somarriba *et al.* (2001), por otra parte se determina que la pérdida acelerada de diversidad tanto en la superficie o interior del suelo se debe al incremento de los sistemas agrícolas e implementación de los sistemas en monocultivo, uso de agroquímicos y daños excesivos por actividades como la deforestación (FAO, 2002).

Por este motivo se debe tener en cuenta a los sistemas agroforestales debido a que pueden

Tabla 5. Pruebas de comparación de medias Tukey para la variable diversidad de la macrofauna del suelo asociada a sistema de *Coffea arabica* y bosque, San Pedro de Cartago, departamento de Nariño, 2010

| Prueba de comparación de medias Tukey para usos en San Pedro de Cartago Nariño 2010 | | |
|---|----------------|---|
| | Promedios | Estratos |
| a | 1.00933 (0,32) | monocultivo de <i>C. arabica</i> |
| b a | 0.98654 (0,39) | <i>C. arabica</i> asociado con <i>M. sapientum</i> |
| b a | 0.93819 (0,47) | Bosque |
| b | 0.90623 (0,52) | Sistema Agroforestal <i>C. arabica</i> y <i>I. edulis</i> |

Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas
Medias transformadas $\sqrt{y+0.5}$ (Medias originales)

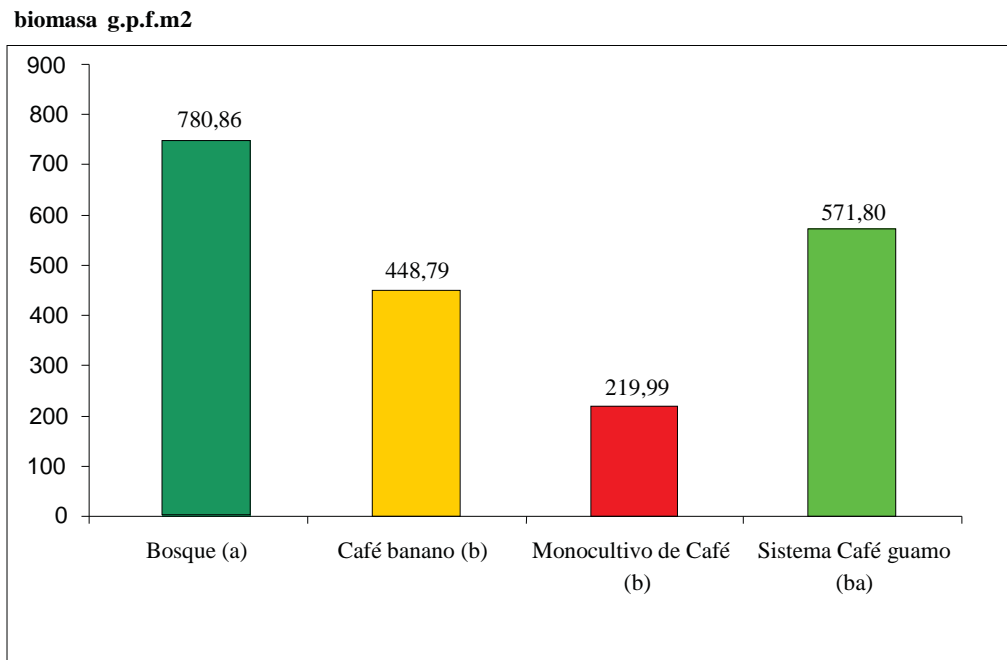
proporcionar una serie de beneficios ambientales en la estabilidad de los factores del clima como precipitación, temperatura y humedad las cuales contribuyen a mantener un equilibrio dentro de los diferentes componentes biológicos permitiendo un buen desarrollo de los organismos que la habitan (Jiménez, *et al.*, 2003; Cardona y Siavosh, 2005).

Biomasa. De los cuatro sistemas evaluados la biomasa de la macrofauna del suelo fue mas alta en el sistema bosque con un valor de 780,8 gramos de peso fresco por metro cuadrado (g.p.f.m²), seguido por el sistemas agroforestal *C. arabiga* con *I. edulis* 571,8 g.p.f.m², finalmente se encuentran el sistema *C. arabiga*, en monocultivo con 219.9 g.p.f.m². El análisis de varianza determina que no hay diferencias significativas para estratos y su interacción pero detectó diferencias significativas (p<0.05) para usos.

La prueba de comparación de medias (Figura 2), indica que el sistema bosque y *C. arabiga* e *I. edulis* presentaron diferencias estadísticas frente al *C. arabiga* y *M. sapientum* y monocultivo de *C. arabiga*, por su mayor contenido en (g.p.f.m²).

La presencia de los árboles naturalmente o por su establecimiento en sistemas de producción, es una de las principales estrategias para mantener la diversidad y por ende su biomasa debido a que proveen un hábitat adecuado para numerosas especies, en sus diferentes estratos (Rodríguez, 2005). Según Bonilla *et al.* (2007), afirman que la biomasa de artrópodos se favorece cuando la labranza realizada por agricultores ya sea por herramientas o maquinaria pesada y el continuo sobre pastoreo no se realizan, donde no se perturba el hábitat de los diferentes organismos del suelo que se desarrollan en este medio.

Figura 2. Valores de biomasa (g.p.f.m²) de macrofauna en diferentes usos asociados con *C. arabiga* y bosque, San Pedro De Cartago, 2010



Usos con la misma letra no presenta diferencias significativas.

Por otra parte las comunidades edáficas de macrofauna pueden ser afectadas en su abundancia y por ende en su biomasa por prácticas agropecuarias tales como la intensidad de laboreo, la diversificación de cultivos y el pastoreo con ruminantes, donde la superficie de los suelos de las pasturas se enlodan por efecto de un intenso pastoreo en tiempo húmedo, ello puede reducir la poblaciones de macrofauna y por ende su biomasa incluso restringirla a las de vida profunda, prefiriendo suelos de texturas francas con buena aireación, abundante contenido orgánico y un nivel equilibrado de humedad (Altieri *et al.*, 2005).

Distribución vertical. Los estratos (Mantillo, 0-10 cm, 10-20 cm, y 20-30 cm), presentaron diferencias importantes, donde los estratos Mantillo y 0 - 10 cm indicaron los mejores valores en cuanto a riqueza, con 12 y 15 familias para un total de 3344 y 4496 i.p.m², mayor valor de biomasa con 489,58 y 634,84 g.p.f.m² y mayor diversidad 0,46 y 0,48, por otra parte los valores más bajos de diversidad se encontraron en el estrato 20 a 30 cm., con una riqueza de 7 familias para un total de 3244 i.p.m², un valor de biomasa de 334,47 g.p.f.m², y diversidad de 0,37 (Tabla 6).

Debido a que la mayor parte del alimento orgánico que está a disposición de la macrofauna proviene de la capa vegetal y de otros animales que recubren el suelo, por lo cual la diversidad poblacional aumenta. (Navia, 2003). Teniendo en cuenta que la distribución de la macrofauna en el perfil del suelo está determinada por la humedad y temperatura que le brinda el contenido de materia orgánica donde la humedad es un factor esencial que determina el grado de actividad y la localización de las lombrices en los suelos, ya que son organismos de respiración cutánea y extraen del suelo el agua que ingieren (Jiménez *et al.*, 2003).

Dentro de los sistemas agroforestales el componente arbóreo influye positivamente en las comunidades de macrofauna de los diferentes estratos del suelo logrando ambientalmente la regulación del microclima, evitando que el suelo se sobrecaliente, aumentando los niveles de materia orgánica por la adición de hojarasca raíces y tallos, generando hábitats adecuados para el incremento de las poblaciones biológicas que son las encargadas de descomponer y transportar por los diferentes perfiles estos residuos (Otiniano *et al.*, 2002).

Tabla 6. Distribución vertical (Sumatoria de valores en cada estrato) de macrofauna del suelo asociada a sistemas con *C. arabiga* y bosque, San Pedro de Cartago, Nariño, 2010

| Estratos | Abundancia | Biomasa | Índice de diversidad Simpson | Riqueza |
|------------|------------|---------|------------------------------|---------|
| Mantillo | 3344 | 489,58 | 0,46 | 12 |
| 0 a 10 cm | 4496 | 634,84 | 0,48 | 15 |
| 10 a 20 cm | 4579 | 562,51 | 0,41 | 11 |
| 20 a 30 cm | 3244 | 334,47 | 0,37 | 7 |

Coefficiente de jaccard (Cj). Según el coeficiente de Jaccard (Cj) la mayor similitud se encontró en los usos *C. arabiga* y *M. sapientum* y *C. arabiga* e *Inga edulis* (Fig. 3) con un 38,46% seguida de los usos *C. arabiga* y *M. sapientum* y monocultivo de *C. arabiga* con una similitud del 27,27%, mientras que la más baja se evidencio en los usos bosque y *C. arabiga* y *M.sapientum* con un valor de 16,67%.

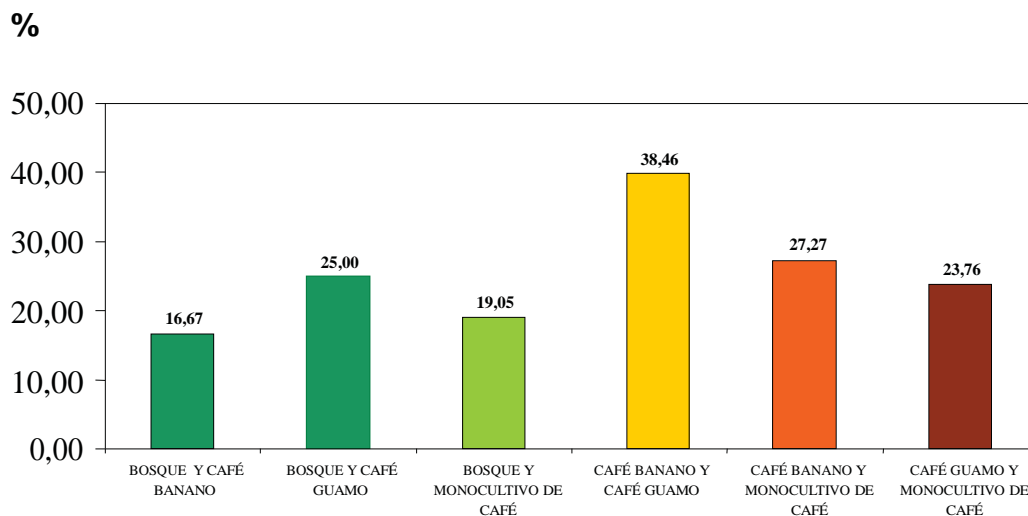
Los sistemas que alcanzaron los mayores valores de importancia de los cuatro usos evaluados fueron los sistemas *C. arabiga* e *I. edulis* y *C. arabiga* y *M. sapientum* como los más parecidos en composición de especies. Esto significa que estos dos sistemas poseen una estructura (composición y abundancia combinadas) con un 38,46% de similitud. Muy seguramente se debe a que estos sistemas poseen un componente que es el *C. arabiga* que se encuentra cubriendo la mayor parte del suelo proporcionando un hábitat similar en los dos sistemas, lo que conlleva que las especies encontradas sean similares (Acero, 2001).

En orden descendente, lo siguen los usos bosque y monocultivo de *C. arabiga* con un 27 %, mientras que el bosque y *C. arabiga* y *M. sapientum* son los usos que menos especies comparten con un 16%, esto se debe principalmente a que los sistemas con *C. arabiga* en ausencia de árboles presentan una diversidad de macrofauna muy diferente a la encontrada en sistemas de café en presencia de árboles y el bosque (Gamboa y Castillo, 2009).

El coeficiente de Jaccard (Cj) demostró que los estratos 10 a 20 cm y 20 a 30 cm presentan una mayor similitud con un 46.67%, a medida que se profundiza en el perfil del suelo disminuye el contenido de oxígeno y de materia orgánica que proporciona el hábitat y alimento adecuados para desarrollarse (Pardo *et al.*, 2006).

Por otra parte la menor similitud se encontró en los estratos mantillo con 0 a10 cm., en el mantillo se encuentra un habitat que es el adecuado para unas determinadas especies debido a la presencia de hojarasca, mientras que el estrato

Figura 3. Similaridad entre los usos y manejos del suelo en la Vereda El Salado municipio de San Pedro de Cartago Nariño, 2010



0 a 10 cm recibe del mantillo el resultado de la descomposición de diferentes restos vegetales o animales formando así un hábitat totalmente diferente para las especies (Montenegro, 2005).

CONCLUSIONES

Los sistemas no disturbados y con mayor protección al suelo presentaron la mayor abundancia de macrofauna con usos bosque y *C. arabica* asociado con *M. sapientum* y las menores se presentaron en el sistema asociado de *C. arabica* con *I. edulis* y en el monocultivo con *C. arabica*.

Lo anterior también se vio reflejado en la riqueza expresada como el número de familias por metro cuadrado, el sistema bosque con 15 familias, seguido del sistema agroforestal *C. arabica* asociado con *I. edulis* frente a los

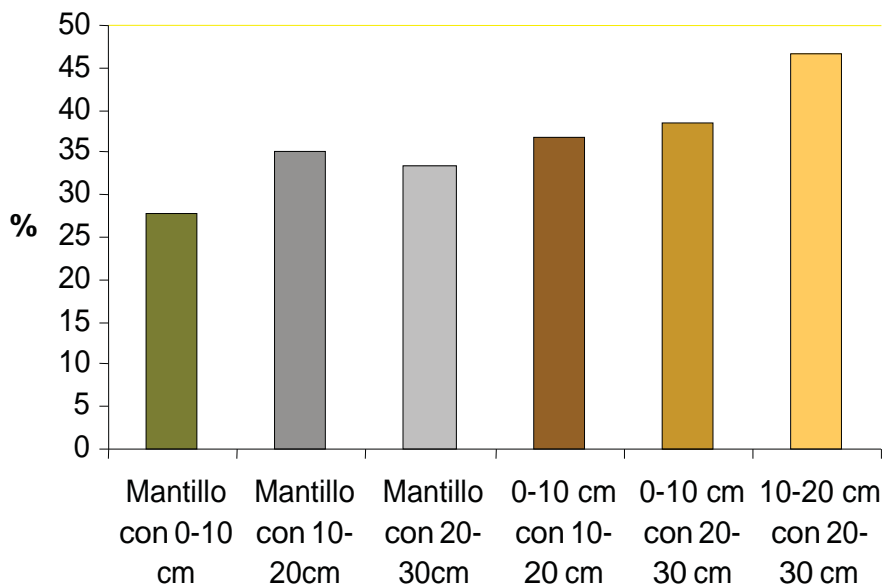
sistemas monocultivo de *C. arabica* y *C. arabica* con *M. sapientum* que presentaron una menor riqueza.

Se encontró una relación directa entre sistemas menos disturbados con la diversidad de macrofauna.

BIBLIOGRAFÍA

- ACERO, D. 2001. Árboles de la zona Cafetera de Colombia. Fondo Cultural Cafetero. 307 p.
- ALTIERI, N., ZERBINO, A., MORÓN, A. 2005. Biodiversidad del suelo bajo diferentes sistemas de producción. XXI Reuniao do Grupo Técnico em Forrageiras do Cone Sul Grupo Campos. Desafios e oportunidades do Bioma Campos frente a Expansao e Intensificacao Agrícola.

Figura 4. Similaridad entre los estratos del suelo de diferentes sistemas asociados con *Coffea arabica*, San Pedro de Cartago Nariño, 2010



- BACA, B., SOTO, L., PARDO, M. 2002. Fijación biológica del nitrógeno y agricultura orgánica versus agricultura convencional. Revista numero-38.
- BERMUDEZ, M. 1980. Erosión hídrica y esorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L.) Poró (*Eritrina poepiggiana* Walpers O.F. Cook) y Laurel (*Cordia alliodora* R.P. Cham) en Turrialba, Costa Rica. Turrialba, IICA. 74 P.
- BONILLA, C., BURBANO, H., CASTRO, J. 2007. Abundancia y biomasa de organismos edáficos en tres usos del terreno en el altiplano de Pasto. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, Acta Agronómica.
- CARDONA, D Y SIAVOSH, S. 2005. Beneficios del sombrero de guamo en suelos cafeteros. Chinchiná, Avances técnicos de Cenicafé, divulgación científica ISSN-0120-0178.
- CARDONA Y SIAVOSH, S. 2005. Aporte de material orgánico y nutrientes en cafetales al sol y bajo sombrero de guamo. Chinchiná, Avances técnicos de Cenicafé, divulgación científica ISSN-0120-0178.
- CARDOSO, I., BODDINGTON, C., JANSSEN, B., OENEMA, O., KUYPER, T. 2003. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. *Agroforestry Systems* 58:33-43.
- CENICAFE. 2005. Sistemas Agroforestales de producción de café. (en línea) consultado el 20 de sep de 2005, Disponible en: http://www.cenicafe.org/modules.php?name=Sistemas_Produccion&file=sisagr.
- CORREIA, F., MARIA, E., OLIVEIRA, M., LUÍS C. 2000. Fauna de solo: aspectos gerais e metodológicos. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 46p. ISSN 1517-8498.
- DENNIS, P, 2001. Los cambios en los ensambles de especies de artrópodos en relación con el establecimiento silvopastoriles en los pastizales de montaña. 7(3) 14 -21.
- FERNANDEZ, M., M. DE OLIVEIRA, L.2000. Fauna de solo:Aspectos Gerais e metodológicos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Agro biologia. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Número 112.
- FAO, 2002. Informe del Taller Técnico Internacional organizado por EMBRAPA- Soybean, en Londrina, Brasil, del 24 al 27 de junio (Informe No.101 Mundial de FAO sobre Suelos, FAO, Roma, 2002). Disponible también en: http://www.fao.org/ag/agl/agll/soilbiod/doc_s/WSRR%20101%20Complete.pdf
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. BOGOTÁ. COLOMBIA 2009 Sistema de información cafetera. Encuesta Nacional Cafetera SICA. Estadísticas Cafeteras. Informe final. Bogotá, FNC. 178p
- GAMBOA, M., CASTILLO, A. 2009. Evaluación De La Macrofauna Del Suelo Bajo Diferentes Usos En El Municipio De La Unión, Departamento de Nariño, Colombia. Trabajo de grado (Ingeniero Agroforestal). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal.
- IGAC, 1996. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, Subdirección de Agrolo-

- gía, Suelos de Colombia, Bogotá: Canal Ramírez Antares LTDA. 1995. 460p.
- JIMENEZ, J., MORENO, G., DECAENS, T., LAVELLE, P. 2003. Comunidades de lombrices en las sabanas nativas y en los pastizales introducidos en los llanos orientales de Colombia. Colombia. Cali. CO. pp 57-75.
- LAVELLE, P. 2000. El impacto de la fauna del suelo en las propiedades del suelo en los trópicos húmedos. En: Mito y Ciencia de los suelos de los trópicos. pp.23-29.
- LAVELLE, P. 2001. Soil Ecology. Kluwer Academic Publishers, Países Bajos. 654 p
- MONTENEGRO, J. 2005. Efectos del aporte de nutriente de la biomasa de tres tipos de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. PP.12-25.
- MONTERREY, J., SUAREZ, D., GONZÁLEZ, M. 2001. Comportamiento de insectos en sistemas agroforestales con café en el Pacífico Sur de Nicaragua. Agroforestería en las Américas 8(29):15-21
- NAVIA, J. 2003. Impacto de los diferentes sistemas de uso de la tierra sobre la biota del suelo en el departamento del Cauca. Palmira, valle del Cauca. Colombia. Proyecto para en ciencias agrarias: énfasis en suelos. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, escuela de postgrados. Palmira. pp 6-12.
- OLIVIERA, E.P, 2000. Estudo dos Invertebrados Terrestres e Distribuicao vertical em diferentes Ecosistemas da Amazonía Central. In: XIII Congreso Latinoamericano de Ciencia do Solo. Aguas de Lindota -Sp. Resumo expandido en CD Rom.
- OTINIANO, A., PEREZ, R., COSTA, R. 2002. Efecto de la sombra y la fertilización de hongos, bacterias y macroorganismos del suelo en café variedad Catimor. Villa Rica, selva central del Perú. Café Cacao. Pp 74-77.
- PARDO, L., CLAUDIA, P., VÉLEZ, F., SEVILLA, E. 2006. Abundancia y biomasa de macroinvertebrados edáficos en la temporada lluviosa, en tres usos de la tierra, en los andes colombianos. Universidad del Valle, Investigación desarrollada con la orden de trabajo 5102 del Grupo Empresarial Sostenible CVC. Editado para publicación en el marco de la disertación doctoral en Biología, pp1-2
- RODRÍGUEZ C, 2005. Caracterización físico-química del suelo en tres coberturas vegetales y su relación con la macrofauna del suelo en la vereda La Josefina municipio de Pasto, Nariño, 2001. Trabajo de grado (Ingeniera Agroforestal). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal.
- SCULLION, J., NEALE, S., PHILIPPS, L. 2002. Comparisons of earthworm populations and cast properties in conventional and organic arable rotations. Soil Use and Management 18:293-300.
- SEVILLA, F., OBERTHÜR, T., USMA, H., ESCOBAR, G., PARDO L., NARVÁEZ, G. 2002. Exploración de la presencia y abundancia de la cleoptero fauna edáfica en diferentes usos de la tierra en una microcuenca del departamento del Cauca. En: Congreso Nacional de Ciencias Biológicas,

37. Ponencias. San Juan de Pasto. Universidad de Nariño. 274 p.

SOMARRIBA, E., BEER, J., MUSCHLER, G. 2001. Los métodos de investigación para los estratos múltiples sistemas agroforestales con café y el cacao: las recomendaciones de dos décadas de investigación en el CATIE. *Agroforestry Systems* 53(2): 195-203

SPAIN, A., LAVELLE, P., MARIOTTI, A. 2001. Stimulation of plant growth by tropical earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, 24:1629-1633.

STEEL y TORRIE. 1992. Bioestadística. Principios y Procedimientos. Editorial

STILES, FRANK. 2000. Curso "Muestreo y análisis estadístico en investigaciones biológicas" Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Programa de Educación Ambiental, p 50. Wisconsin. pp. 157-185.

ZERBINO, S., ALTIER, N., MORON, A., RODRIGEZ C. 2007. Efecto del pastoreo de una pradera natural sobre la macrofauna del suelo. Pp 1-2. In: Seminario efecto del pastoreo de una pradera natural sobre la macrofauna del suelo. Tacuarembó, Uruguay.