

## **5 ARTÍCULO 2: EFECTO DE DIFERENTES SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ, BOSQUE SECUNDARIO, PASTIZAL Y CULTIVO DE CAÑA SOBRE LA ABUNDANCIA Y BIOMASA DE LOMBRICES EN ÉPOCA LLUVIOSA Y SECA EN TURRIALBA, COSTA RICA**

### **5.1 Introducción**

La interacción de las lombrices de tierra sobre diferentes sistemas agroforestales en asocio con árboles leguminosos fijadores de nitrógeno como no fijadores bajo distintos cultivos es poco conocida y explicada. Poco se sabe sobre la dinámica de lombrices en estos sistemas en diferentes estaciones climáticas. Las lombrices de tierra son organismos que modifican las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, participando directamente en la descomposición de materia orgánica separando e introduciendo toda la hojarasca hasta el interior del suelo permitiendo así que comiencen los procesos de humificación y mineralización (Lavelle *et al.* 1989; Araujo y López-Hernández 1999). Según Six *et al.* (2002) y Huan Li *et al.* (2012), estos son organismos claves de la biota del suelo trabajan influyendo en el crecimiento de las plantas y/o cultivos transformando su espacio temporal para dar paso a la disponibilidad de N, P sobre sus madrigueras.

Estudios basados en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres han considerado a las lombrices de tierra como los animales más importantes (Hendrix y Bohlen 2002; Pérez-Molina y Cordero 2012). Debido al aumento en la aireación, filtración y disponibilidad de nutrientes que mejoran la fertilidad y calidad de los suelos (Pashanasi *et al.* 1994; Pérez-Molina y Cordero 2012). Sin embargo, estos organismos pueden ser influenciados por la cantidad de fertilizantes a causa de prácticas de manejo y a la estacionalidad, lo que significaría la disminución o aumento sobre la densidad y biomasa de lombrices de tierra (Fragoso 2001). Por otra parte, aunque la capacidad de beneficios mencionados anteriormente y que son proporcionados por estos organismos sea altamente positiva esto puede variar también de acuerdo al tipo de suelo (Oades 1993; Scullion *et al.* 2002).

En ese sentido, el presente trabajo pretende explicar los efectos de las lombrices de tierra en las épocas lluviosa y seca sobre diferentes sistemas agroforestales con café asociados a especies arbóreas leguminosas fijadoras de nitrógeno y no fijadoras. Para ello se estudió la abundancia y biomasa de estos organismos en sistemas agroforestales de café con manejo convencional y orgánico. El objetivo de la presente investigación es determinar y evaluar la abundancia y biomasa de lombrices durante la época lluviosa y seca y el efecto del sistema de manejo (orgánico y convencional) y tipo de sombra de diferentes sistemas agroforestales con café en comparación con otros sistemas de suelo adyacentes al sistema agroforestal como lo son el cañal, bosque secundario y pastizal.

## 5.2 Materiales y métodos

### 5.2.1 Ubicación del estudio

Este estudio se llevó a cabo en el ensayo conducido en sistemas agroforestales con café que se estableció a comienzos del 2000 en la finca experimental de CATIE, en el sector de Bonilla 2 en las coordenadas 9° 53' 44" N y 83° 40' 7" O, a una altitud de 600 msnm. El lote experimental del CATIE cuenta un área de 9,2 hectáreas y está ubicada en el cantón Turrialba de la provincia de Cartago en Costa Rica. Los suelos del ensayo son aluviales mixtos del orden Ultisol e Inceptisol que tienen la textura entre franco y franco-arcilloso en los primeros horizontes (Virginio *et al.* 2002). El ensayo permitió probar distintos tipos de sombra, fertilización, y variedades sobre el crecimiento y rendimiento a fin de conocer principalmente la dinámica con el cultivo. El clima de la zona se caracteriza por una temperatura media anual 21,8°C, y una precipitación anual de 2600 mm con dos estaciones marcadas siendo marzo el mes más seco y octubre el más lluvioso (MAG 2012). La humedad relativa es de aproximadamente 88,1%; la evapotranspiración potencial total anual es de 1143,5mm (CATIE 2012). Generalmente, el periodo de mayor temperatura se da entre marzo y abril; en tanto que las temperaturas más bajas generalmente ocurren entre octubre y diciembre. El ensayo se ubica en la zona de vida de bosque premontano muy húmedo (bpmh) según el sistema de clasificación de Holdridge (Merlo 2007).

El ensayo fue establecido en lotes de café de la variedad caturra plantado a 2x1 m, con seis diferentes tipos de sombra en de sistemas agroforestales integrado por las especies: *C. eurycyclum*, *E. poeppigiana*, *T. amazonia*, *C. eurycyclum* y *Erythrina*; *C. eurycyclum* y *Terminalia*, *Erythrina* y *Terminalia*, las cuales fueron plantadas a 6x4 m, bajo manejo convencional y orgánico. Además, se cuenta con parcelas en pleno sol para contrastes con los sistemas agroforestales. El diseño experimental del ensayo es un factorial incompleto con un diseño de bloques completos con tres repeticiones. Se formaron un total de 20 tratamientos de las interacciones entre tipos de sombra y tipos de manejo (Cuadro 11). De esa manera, se obtuvieron los tratamientos de la combinación del tipo de sombra (*C. eurycyclum*, *E. poeppigiana*, *T. amazonia* y las tres combinaciones de las mencionadas especies), más los manejos alto convencional (AC), medio convencional (MC), orgánico intensivo (MO) y bajo orgánico (BO), este último se muestra en detalle por nivel y manejo programado (Cuadro 12).

Asimismo, se consideró otros tres sistemas de suelo adyacentes al ensayo para realizar las evaluaciones de la abundancia y biomasa de lombrices tomando en cuenta similares condiciones al ensayo de sistemas agroforestales. Por lo tanto, el segundo sitio de estudio fue un bosque secundario cercano a la finca experimental del CATIE, que presenta clima y suelos similares a los descritos en el ensayo, las principales especies arbóreas son *Oliganthes discolor* "Ocuera", *Cordia alliodora* "Laurel", *Erythrina poeppiana* "Poro", *Trichanthera gigantea* "Nacedero", especies de la familia musáceas *Heliconia bihai* L "Platanillo" y

*Clidemia serícea* “Purrá” entre otros. El tercer sistema corresponde a una plantación de caña contiguo al ensayo, manejada bajo cosechas anuales y el cuarto sistema corresponde a un pastizal que también se encuentra adyacente al ensayo, pero principalmente se caracteriza por estar dentro del área productiva de la finca agropecuaria del CATIE, cuya producción es enfocada a dos sistemas de producción de carne y leche (Argeñal 2011).

El área total del pastizal cuenta con 164.92 ha, su vegetación presenta principalmente los siguientes pastos Retana (*Ischaemun ciliare*), Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y Tanner (*Brachiaria radicans*). El pastizal es manejado bajo un sistema que tiene como actividad utilizar un día de ocupación y 28 días de descanso para tratamientos implementados. En cuanto a la carga animal esto varía entre 3.8 UA/ha y 4.2 UA/ha de acuerdo a la época, ya que se asume que durante la época de verano hay una menor carga animal que en la época de invierno (Argeñal 2011).

*Cuadro 11. Diseño del experimento que permitió la combinación de niveles de manejo y tipos de sombra. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica*

| Tipo de sombra            | 1.<br>( <i>Erythrina poeppiana</i> )<br>Poró | 2.<br>( <i>Terminalia amazonia</i> )<br>Terminalia | 3.<br>( <i>Chloroleucon eurycyclum</i> )<br>Cashá | 4.<br>Cashá<br>+<br>Terminalia | 5.<br>Poró<br>+<br>Terminalia | 6.<br>Cashá<br>+<br>Poró | 7.<br>Pleno sol         |
|---------------------------|--|--|---|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Tipo de manejo de insumos | Alto convencional (AC)                       | Alto convencional (AC)                             |   |                                |                               | Alto convencional (AC)   | Alto convencional (AC)  |
|                           | Medio convencional (MC)                      | Medio convencional (MC)                            | Medio convencional (MC)                           | Medio convencional (MC)        | Medio convencional (MC)       | Medio convencional (MC)  | Medio convencional (MC) |
|                           | Orgánico intensivo (MO)                      | Orgánico intensivo (MO)                            | Orgánico intensivo (MO)                           | Orgánico intensivo (MO)        | Orgánico intensivo (MO)       | Orgánico intensivo (MO)  |                         |
|                           | Bajo orgánico (BO)                           | Bajo orgánico (BO)                                 |   |                                |                               | Bajo orgánico (BO)       |                         |

Fuente: Virginio 2002

*Cuadro 12. Niveles de insumos y manejo anual programado desde el 2005 para cada nivel en los ensayos comparativos de sistemas agroforestales convencionales y orgánicos, Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica*

| <b>Nivel de manejo</b>         | <b>Fertilización al suelo</b>   | <b>Fertilización foliar</b>                   | <b>Control de malezas</b>   | <b>Control de enfermedades</b>                 | <b>Regulación de sombra</b>  |
|--------------------------------|---|---|---|--|--|
| <b>Alto convencional (AC)</b>  | 2 abonadas con F** completa (1000 kg/ ha).<br>1 abonada FN*** (310 kg/ha) | 3 aplicaciones (1 multim y B) (2 boro y zinc) | 4 aplicaciones parejas 2 parchoneos con herbicidas (calle y carril sin hierbas) | 2 aplicaciones (atemi y cobre)                 | 2 podas totales en poró y 2 podas de formación en terminalia y cashá   |
| <b>Medio convencional (MC)</b> | 2 abonadas con F completa (500 kg/ha).<br>1 abonada FN (180 kg/ha)        | 1 aplicación                                  | 5 aplicaciones herbicidas solo carril 4 chapeas altas en la calle               | 1 aplicación (atemi y cobre)                   | 2 podas parciales en poró y 2 podas de formación en terminalia y cashá |
| <b>Orgánico intensivo (MO)</b> | 2 abonadas gallinaza (10 ton/ha).<br>1 abonada Kmag (100 kg/ha)           | 3 aplicaciones Biofermento con minerales      | 4 chapeas (selectiva en calle y baja en carril) 2 arranca de zacates            | Según incidencia                               | 2 podas parciales en poró y 2 podas de formación en terminalia y cashá |
| <b>Bajo orgánico (BO)</b>      | 2 abonadas broza o gallinaza (7 ton/ha).                                  | No se aplica                                  | 4 chapeas (selectiva en calle y baja en carril)                                 | No se aplica con excepción de control de broca | 2 podas parciales en poró y 2 podas de formación en terminalia y cashá |

\*\*F: fertilización completa (NPK), \*\*\*FN: fertilización nitrogenada (Urea). Fuente: Virginio (2005)

Las épocas de muestreo se establecieron entre finales de octubre y principios de noviembre de 2012 (época lluviosa) y de finales de febrero a principios de marzo de 2013 (época seca). La evaluación de la macrofauna de lombrices durante la época lluviosa se efectuó en cada tratamiento descrito en el Cuadro 13 (Cuadro 13). Luego de seleccionar además tres usos de suelo adyacentes al ensayo que sirvieron como testigos (bosque secundario, cañal y pastizal) sobre los cuales se hicieron las mismas evaluaciones.

El muestreo en el bosque secundario consistió en delimitar un área para cada uno de los tres bloques de 70x40 m, para el primer bloque; de 40x30 m para el segundo bloque y de 39x30 m para el tercer bloque. La metodología utilizada para la recolección de las lombrices fue la recomendada por el Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF) (Anderson y Ingram 1993), que consiste en utilizar un marco de metal de 25x25 cm y una profundidad de 10 cm.

Lo anterior se realizó para los cuatro puntos dentro de cada bloque. Tanto en bosque como en pasto y caña en los otros tres bloques. Para determinar la abundancia y biomasa de las lombrices estas fueron cuantificadas, se lavaron y pesaron debidamente codificadas para posteriormente ser devueltas a la unidad de muestreo (Anexo 1). El muestreo en el cañal se realizó delimitando un área para cada uno de los tres bloques de 60x60 m. Según Lavelle y Fragoso (2000), en la época lluviosa se da una abundancia y biomasa de lombrices mayores.

Para el muestreo en el pastizal se delimitó un área para los tres bloques de 70x70 m para el primer y segundo bloque; para el tercer bloque se delimitó un área de 70x46 m. En ambos casos se siguió la metodología recomendada por el Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF) (Anderson y Ingram 1993).

*Cuadro 13. Tratamientos SAF con café de acuerdo a los tipos de sombra y niveles de manejo con sus respectivas áreas efectivas donde se muestrearon las lombrices de tierra. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica*

| <b>Tipos de sombra</b>                       | <i>Erythrina p.</i> | <i>Terminalia a.</i> | <i>Chloroleucon e.</i> | <i>Pleno sol</i> | <i>Erythrina p.</i><br>+<br><i>Terminalia a.</i> | <i>Chloroleucon e.</i><br>+<br><i>Terminalia a.</i> | <i>Chloroleucon e.</i><br>+<br><i>Erythrina p.</i> |
|--|---------------------|----------------------|------------------------|------------------|--|---|--|
| <b>Nivel de manejo</b>                       | AC                  | AC                   |                        | AC               |  |   | AC   |
|  | MC                  | MC                   | MC                     | MC               | MC   | MC  | MC   |
|  | MO                  | MO                   | MO                     |                  | MO   | MO  | MO   |
|  | BO                  | BO                   |                        |                  |  |   | BO   |
| <b>Área efectiva del muestreo en los SAF</b> | 36 X 10 m           | 18 x 18 m            | 18 x 18 m              | 23 x 20 m        | 20.5 x 21.1 m                                    | 20.5 x 21.1 m                                       | 20.5 x 21.1 m                                      |

Fuente: Merlo (2007)

El muestreo consideró cuatro puntos, definiéndose al azar el lado donde sería ubicado el cuadrante. También se tomó la cobertura de hojarasca total de cada calle del cafetal para cuantificar la presencia o no de materia orgánica por descomponer. La calificación utilizó la siguiente escala: 0 cuando no había hojarasca; 1 cuando había poca y 2 cuando había mucha. Esta calificación se realizó también en la calle de cada tratamiento en donde había poda o no. Luego se procedió a tomar dos veces la temperatura y humedad del suelo para sacar un promedio y por último se realizó la cuantificación, el lavado y el pesado de las lombrices; posteriormente se procedió a devolver las lombrices al lugar de muestreo, para evitar la sobreexposición del sol y muerte de las mismas.

Previamente al muestreo durante la época seca se midió, en cada uno de los tratamientos considerados, el porcentaje de sombra de cada especie arbórea (SAF) tomando los cuatro puntos cardinales mediante un densiómetro esférico.

## 5.2.2 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante modelos lineales generales y mixtos. Para el mejor modelo seleccionado se realizó un análisis de varianza basado en los criterios de AIC y BIC, mediante el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2012). Para el análisis de varianza, la abundancia y biomasa de lombrices fueron transformadas a metros cuadrados; también se realizaron comparaciones de medias por el método DGC aun ( $p < 0,05$ ). Para un mejor detalle de las medias se hicieron contrastes no ortogonales para conocer las diferencias y/o relaciones de los tratamientos en estudio.

## 5.3 Resultados y discusión

### 5.3.1 Abundancia de lombrices en sistemas agroforestales con café convencional y orgánico y otros sistemas de suelo durante las épocas lluviosa y seca

Según los resultados obtenidos por el análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), debidas a los efectos fijos de código de tratamiento, época y las covariables temperatura, humedad, además de la interacción de código\_tratamiento\*época. No se encontraron diferencias significativas para materia orgánica y la sombra. No obstante, los factores mencionados por si solos no fueron determinantes para la abundancia de lombrices en los sistemas agroforestales estudiados. Los tratamientos con valores menores fue el tratamiento cañal (CA = 62,41 ind/m<sup>2</sup>) en época lluviosa seguido de los tratamientos pleno sol medio convencional (PS+MC = 70,47 ind/m<sup>2</sup>) época seca; pleno sol alto convencional (PS+AC = 84,94 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; seguido de la combinación de *Chloroleucon* y *Erythrina* alto convencional (CyE+AC = 96,40 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; pleno sol alto convencional (PS+AC = 96,50 ind/m<sup>2</sup>) época seca; pastizal (PZ = 102,12 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Chloroleucon* orgánico intensivo (C+MO = 111,88 ind/m<sup>2</sup>) época seca; *Terminalia* orgánico intensivo (T+MO = 115,38 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Terminalia* orgánico intensivo (T+MO = 120,27 ind/m<sup>2</sup>) época seca; cañal (CA = 120,42 ind/m<sup>2</sup>) época seca; y la combinación de *Chloroleucon* y *Erythrina* orgánico intensivo (CyE+MO = 122,73 ind/m<sup>2</sup>) época seca.

Los tratamientos con abundancias medias fueron *Erythrina* orgánico intensivo (E+MO = 135,42 ind/m<sup>2</sup>) época seca; *Erythrina* y *Terminalia* orgánico intensivo (EyT+MO = 140,66 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Chloroleucon* y *Erythrina* orgánico intensivo (CyE+MO = 141,51 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Chloroleucon* y *Terminalia* orgánico intensivo (CyT+MO = 141,65 ind/m<sup>2</sup>) época seca; *Chloroleucon* medio convencional (C+MC = 147,59 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Erythrina* y *Terminalia* orgánico intensivo (EyT+MO = 154,46 ind/m<sup>2</sup>) época seca; *Erythrina* orgánico intensivo (E+MO = 154,49 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Erythrina* medio

convencional (E+MC=159,22 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Chloroleucon* y *Erythrina* bajo orgánico (CyE+BO = 159,42) época lluviosa; *Chloroleucon* y *Erythrina* alto convencional (CyE+AC = 162,45) época seca; *Chloroleucon* orgánico intensivo (C+MO = 165,19) época lluviosa; *Chloroleucon* y *Erythrina* bajo orgánico (CyE+BO = 165,80 ind/m<sup>2</sup>) época seca; *Erythrina* alto convencional (E+AC = 172,48 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Erythrina* y *Terminalia* medio convencional (EyT+MC = 176,42 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Terminalia* medio convencional (T+MC = 179,30) época lluviosa; *Chloroleucon* medio convencional (C+MC = 181,41) época seca; *Erythrina* alto convencional (E+AC = 183,99 ind/m<sup>2</sup>) época seca; *Chloroleucon* y *Erythrina* medio convencional (CyE+MC = 186,24 ind/m<sup>2</sup>) época seca; pleno sol medio convencional (PS+MC = 188,49 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Chloroleucon* y *Erythrina* medio convencional = 189,08 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Chloroleucon* y *Terminalia* orgánico intensivo (CyT+MO = 189,59 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; bosque secundario (BS = 192,00 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Erythrina* medio convencional (E+MC = 199,91 ind/m<sup>2</sup>) época seca; *Erythrina* y *Terminalia* medio convencional (EyT+MC = 199,94 ind/m<sup>2</sup>) época seca; *Terminalia* bajo orgánico (T+BO = 203,63 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Chloroleucon* y *Terminalia* medio convencional (CyT+MC = 204,37 ind/m<sup>2</sup>) época seca; *Terminalia* alto convencional (T+AC = 211,86 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Terminalia* medio convencional (T+MC = 221,96 ind/m<sup>2</sup>) época seca; *Terminalia* alto convencional (T+AC = 230,10 ind/m<sup>2</sup>) época seca; *Terminalia* bajo orgánico (T+BO = 245,83 ind/m<sup>2</sup>) época seca; *Chloroleucon* y *Terminalia* medio convencional (CyT+MC = 255,84 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Erythrina* bajo orgánico (E+BO = 256,49 ind/m<sup>2</sup>) época lluviosa; y *Erythrina* bajo orgánico (E+BO = 297,69 ind/m<sup>2</sup>) época seca.

La abundancia en el pastizal (PZ = 437,76 ind/m<sup>2</sup>) y bosque secundario (BS = 559,57 ind/m<sup>2</sup>) época seca fueron los que obtuvieron los mayores valores de abundancia (Cuadro 14). Los resultados obtenidos en el pastizal podrían deberse a la influencia de los aportes de residuos fecales por parte de los animales; estos residuos posteriormente son utilizados por la propia acción de las lombrices como alimento para ellas, incrementando su reproducción en este sistema. Varios autores indican que efectivamente las lombrices de tierra son uno de los organismos de la macrofauna predominantes en pastizales (Jiménez y Decaëns 2004; Suthar 2009; Rodriguez *et al.* 2002).

Sánchez y Hernández (2011) evaluaron comunidades de lombrices de tierra en pastizales bajo dos diferentes sistemas, un monocultivo de gramíneas y un sistema silvopastoril, sus resultados concluyeron que bajo un sistema con presencia de árboles la abundancia de lombrices suele ser mayor que bajo un sistema tradicional de gramíneas al lograr cerca de 800 ind/m<sup>2</sup>, mientras que en el sistema tradicional solo se encontraron 297 ind/m<sup>2</sup>, lo cual indicaría una diferencia de 500 ind/m<sup>2</sup> entre estos dos sistemas. No obstante, los resultados obtenidos en esta investigación presentan un contraste tras el hallazgo de Sánchez y Hernández ya que se encontraron 437 ind/m<sup>2</sup> aún sin ser un sistema bajo la presencia de árboles como componente de apoyo para mejorar la abundancia en dicho sistema. Lo que afirmaría que la abundancia sobre el sistema evaluado sea debida más al aporte de los residuos propios de los animales existentes en el área de estudio como anteriormente se mencionó.

Mientras que los resultados obtenidos durante este trabajo en el bosque secundario fueron muy similares a los reportados por Pashanasi (2001) en bosques secundarios de la Amazonía peruana (334 a 838 individuos/m<sup>2</sup>); sin embargo, la biomasa varió entre 4,2 y 102 g de peso fresco/m<sup>2</sup>. Estos resultados se pueden deber a que se da un mayor alimento y condiciones favorables de temperaturas y/o humedades que son proporcionadas por la sombra dentro del bosque. Lo anterior permite que se generen distintos grados de descomposición del mantillo sobre el suelo producto de las diferentes especies arbóreas y arbustivas presente en el bosque (Castro *et al.* 2007).

Evaluaciones realizadas por Aquino *et al.* 2008 en sistemas agroforestales con café, reportan densidades de lombrices entre 77,87 a 115.20 ind/m<sup>2</sup> en los tratamientos a pleno sol alto y medio convencional durante la época lluviosa. No obstante, los valores reportados por Aquino *et al.* (2008) indicaron que bajo estos sistemas y principalmente con el tratamiento alto convencional en época lluviosa la densidad de lombrices encontrada en este estudio que fue de 84 ind/m<sup>2</sup>, fue casi similar que siete años atrás. Por lo que, estos autores indican que la no presencia de árboles en estos sistemas y la diferencia de cantidades en fertilizantes y manejo al sistema como chapeas en el medio convencional ayudan y al mismo tiempo influyen de manera significativa sobre los resultados. Cabe mencionar que las prácticas aplicadas estarían causando indirectamente la reducción también de lombrices en sistemas a pleno sobre todo en niveles de fertilizaciones altas que con aplicaciones moderadas o reducidas a la mitad de fertilizantes para el suelo, foliar, control de malezas y enfermedades que puedan presentarse en este tipo de sistema.

De los tratamientos con las especies *Chloroleucon* y *Terminalia* bajo manejo orgánico existió una densidad mayor de lombrices (entre 305 a 402 ind/m<sup>2</sup>) reportado por Aquino *et al.* 2008. En el tratamiento donde se combinan las especies arbóreas *Chloroleucon* y *Erythrina* con manejo alto convencional en época lluviosa, la densidad es contrastada con la reportada por Aquino *et al.* (2008) con los tratamientos a pleno sol que reportaron menores valores de abundancia de lombrices. Esto podría deberse al hecho de que la combinación de estas especies con niveles de fertilización convencional no ha tenido un efecto positivo sobre la densidad de lombrices en sistemas agroforestales con café. Los tratamientos de *Chloroleucon* orgánico intensivo en época seca y *Terminalia* orgánico intensivo en época lluviosa y seca indicaron densidades entre 111 a 120 ind/m<sup>2</sup>, lo que no corresponde a los resultados reportados por Aquino *et al.* (2008) quienes encontraron densidades muy superiores; esto quiere decir que evidentemente hubo un efecto sobre la densidad de lombrices bajo estos tratamientos a través del tiempo debido a la disponibilidad de materia orgánica, por lo cual es importante tener en cuenta que las prácticas de conservación y el aporte constante de materia orgánica contribuyen a una alta abundancia y biomasa de lombrices de tierra (Ortiz- Ceballos y Fragoso 2004; Aquino *et al.* 2008).

Estudios comparativos sobre las poblaciones de lombrices en fincas orgánicas y convencionales indican que en las orgánicas hay una mayor presencia de lombrices debido a los altos residuos orgánicos que están disponibles, aunque no presenten las suficientes condiciones ambientales (Scullion *et al.* 2002). Las lombrices de tierra pueden influir sobre una amplia gama de propiedades del suelo (Scullion *et al.* 2002). Sin embargo, el suelo es perturbado por diferentes prácticas del tipo convencional u orgánico, que varían de acuerdo a las diferentes cantidades de residuos en forma de hojarasca o manejo de fertilización en un sistema dado como los sistemas agroforestales que asocian entre la presencia de un cultivo con árboles maderables y no maderables con el fin de proporcionar una interacción ecológica realmente sostenible no solo para el cultivo sino también para los organismos que hay en el suelo tratando siempre de mejorar su calidad y fertilidad del mismo.

Generalmente, las poblaciones de lombrices son mayores en diferentes fases de rotaciones, independientemente del sistema de agricultura que se maneje en un sistema de suelo (Fraser *et al.* 1996; Scullion *et al.* 2002). Por lo tanto, se puede decir que los sistemas orgánicos en muchos casos no son constantes y que los sistemas convencionales mantienen una producción estable sobre cualquier cultivo con el tiempo, independientemente de la cantidad de insumos requeridos en la producción. Por otra parte, la densidad de madrigueras superficiales está vinculada a la abundancia de lombrices siendo claramente superiores en suelos orgánicos que en convencionales (Neale y Scullion 1998; Scullion *et al.* 2002).

De acuerdo a los resultados obtenidos por este estudio, en los tratamientos con *Terminalia* orgánico intensivo durante la época lluviosa y seca se reportaron entre 115 y 120 ind/m<sup>2</sup> contrastando con los datos reportados por Aquino *et al.* (2008) considerando solo la época lluviosa (402 ind/m<sup>2</sup>). Lo anterior posiblemente se deba a una mayor cantidad de hojarasca presente en la evaluación de estos autores. Por otro lado, los tratamientos con *Chloroleucon* orgánico intensivo durante esta evaluación reportaron densidades de lombrices entre 111 ind/m<sup>2</sup> en la seca y 165 ind/m<sup>2</sup> en lluviosa, valores que contrastan con los resultados alcanzados por Aquino *et al.* 2008 (305 ind/m<sup>2</sup>).

Al considerar las densidades de lombrices tanto en la época lluviosa y seca, de cada sistema, el tratamiento cañal indico una abundancia (182,84 ind/m<sup>2</sup>), mientras que los tratamientos pleno sol (440,40 ind/m<sup>2</sup>), pastizal (539,88 ind/m<sup>2</sup>), *Chloroleucon* (606,07 ind/m<sup>2</sup>), la combinación de *Erythrina* + *Terminalia* (671,48 ind/m<sup>2</sup>), bosque secundario (751,57 ind/m<sup>2</sup>), las combinaciones de *Chloroleucon* + *Terminalia* (791.45 ind/m<sup>2</sup>), *Chloroleucon* + *Erythrina* (1223,72 ind/m<sup>2</sup>), *Terminalia* (1528,33 ind/m<sup>2</sup>), *Erythrina* (1559,69 ind/m<sup>2</sup>). En el caso de los SAF, todos estos fueron tratamientos con manejos orgánicos y convencionales. Cabe mencionar que las densidades menores se dieron con el tratamiento cañal ya que alcanzo por debajo de los 200 ind/m<sup>2</sup> sobre estos resultados (Cuadro 15).

Cuadro 14. Medias ajustadas y errores estándares para la abundancia de lombrices (ind/m<sup>2</sup>) usando modelos lineales generales y mixtos durante las épocas lluviosa y seca. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica

| Época    | Código_tratamiento | Medias | E.E.  |   |   |
|----------|--------------------|--------|-------|---|---|
| Lluviosa | CA                 | 62,41  | 21,25 | A |   |
| Seca     | PS + MC            | 70,47  | 22,45 | A |   |
| Lluviosa | PS + AC            | 84,94  | 22,93 | A |   |
| Lluviosa | C y E + AC         | 96,40  | 19,58 | A |   |
| Seca     | PS + AC            | 96,50  | 23,11 | A |   |
| Lluviosa | PZ                 | 102,12 | 31,76 | A |   |
| Seca     | C + MO             | 111,88 | 18,64 | A |   |
| Lluviosa | T + MO             | 115,38 | 28,43 | A |   |
| Seca     | T + MO             | 120,27 | 22,58 | A |   |
| Seca     | CA                 | 120,42 | 25,67 | A |   |
| Seca     | C y E + MO         | 122,73 | 19,44 | A |   |
| Seca     | E + MO             | 135,42 | 25,81 |   | B |
| Lluviosa | E y T + MO         | 140,66 | 30,44 |   | B |
| Lluviosa | C y E + MO         | 141,51 | 24,02 |   | B |
| Seca     | C y T + MO         | 141,65 | 22,45 |   | B |
| Lluviosa | C + MC             | 147,59 | 24,61 |   | B |
| Seca     | E y T + MO         | 154,46 | 27,33 |   | B |
| Lluviosa | E + MO             | 154,49 | 29,58 |   | B |
| Lluviosa | E + MC             | 159,22 | 29,25 |   | B |
| Lluviosa | C y E + BO         | 159,42 | 26,77 |   | B |
| Seca     | C y E + AC         | 162,45 | 23,71 |   | B |
| Lluviosa | C + MO             | 165,19 | 28,68 |   | B |
| Seca     | C y E + BO         | 165,80 | 24,21 |   | B |
| Lluviosa | E + AC             | 172,48 | 34,44 |   | B |
| Lluviosa | E y T + MC         | 176,42 | 30,97 |   | B |
| Lluviosa | T + MC             | 179,30 | 33,44 |   | B |
| Seca     | C + MC             | 181,41 | 24,67 |   | B |
| Seca     | E + AC             | 183,99 | 35,21 |   | B |
| Seca     | C y E + MC         | 186,24 | 26,48 |   | B |
| Lluviosa | PS + MC            | 188,49 | 33,61 |   | B |
| Lluviosa | C y E + MC         | 189,08 | 29,52 |   | B |
| Lluviosa | C y T + MO         | 189,59 | 31,22 |   | B |
| Lluviosa | BS                 | 192,00 | 36,73 |   | B |
| Seca     | E + MC             | 199,91 | 32,00 |   | B |
| Seca     | E y T + MC         | 199,94 | 31,22 |   | B |
| Lluviosa | T + BO             | 203,63 | 38,42 |   | B |
| Seca     | C y T + MC         | 204,37 | 27,75 |   | B |
| Lluviosa | T + AC             | 211,86 | 35,92 |   | B |
| Seca     | T + MC             | 221,96 | 34,79 |   | B |
| Seca     | T + AC             | 230,10 | 38,36 |   | B |
| Seca     | T + BO             | 245,83 | 37,21 |   | B |
| Lluviosa | C y T + MC         | 255,84 | 37,55 |   | B |
| Lluviosa | E + BO             | 256,49 | 42,77 |   | B |
| Seca     | E + BO             | 297,69 | 43,37 |   | B |
| Seca     | PZ                 | 437,76 | 63,56 |   | C |
| Seca     | BS                 | 559,57 | 69,67 |   | C |

CA: Cañal; PS+MC y AC: Pleno sol medio y alto convencional; BS: Bosque secundario; PZ: Pastizal; T+AC, MC, MO, BO: *Terminalia* alto convencional, medio convencional, orgánico intensivo, bajo orgánico; CyE+AC, MC, MO, BO: *Chloroleucon* y *Erythrina* alto convencional, medio convencional, orgánico intensivo, bajo orgánico; C+MC y MO: *Chloroleucon* medio

convencional y medio orgánico; CyT+MC y MO: *Chloroleucon* y *Terminalia* medio convencional y orgánico intensivo; E+AC, MC, MO, BO: *Erythrina* alto convencional, medio convencional, orgánico intensivo, bajo orgánico; Ext.+ MC y MO: *Erythrina* y *Terminalia* medio convencional y orgánico intensivo. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas (Prueba DGC,  $\alpha=0,05$ )

*Cuadro 15. Suma de las medias de abundancia (ind/m<sup>2</sup>) de los tratamientos por cada sistema considerando las épocas lluviosa y seca*

| <b>SISTEMA</b> | <b>ÉPOCA</b> | <b>SUMA (MEDIA) TRAT.</b> |
|----------------|--------------|---------------------------|
| CA             | LLUVIOSA     | 182,84                    |
|                | SECA         |                           |
| PS             | LLUVIOSA     | 440,40                    |
|                | SECA         |                           |
| PZ             | LLUVIOSA     | 539,88                    |
|                | SECA         |                           |
| C              | LLUVIOSA     | 606,07                    |
|                | SECA         |                           |
| E+T            | LLUVIOSA     | 671,48                    |
|                | SECA         |                           |
| BS             | LLUVIOSA     | 751,57                    |
|                | SECA         |                           |
| C+T            | LLUVIOSA     | 791,45                    |
|                | SECA         |                           |
| C+E            | LLUVIOSA     | 1223,72                   |
|                | SECA         |                           |
| T              | LLUVIOSA     | 1528,33                   |
|                | SECA         |                           |
| E              | LLUVIOSA     | 1559,69                   |
|                | SECA         |                           |

Los tratamientos bosque secundario y pastizal mostraron la abundancia de lombrices promedio más alta por metro cuadrado durante la época seca, (Figura 10), pero no ocurrió lo mismo con estos tratamientos testigo durante la época lluviosa, cuyas abundancias fueron menores respecto a algunos tratamientos de sistemas agroforestales. No obstante, el tratamiento cañal mostró menor promedio de lombrices por metro cuadrado tanto en la época seca como en la lluviosa.

En el caso de la abundancia en los tratamientos con *Erythrina* bajo diferentes niveles de insumos, sobresalieron los medios convencionales que mostraron la abundancia promedio mayor de lombrices por metro cuadrado en la época seca. Para el caso de los tratamientos con *Terminalia*, sobresalió el bajo orgánico en la época seca. Mientras que los tratamientos con *Chloroleucon* mostraron mayor promedio de lombrices con los insumos medios convencionales también en la época seca. Asimismo, los tratamientos a pleno sol mostraron mayor promedio de lombrices con insumos altos convencionales en la época seca en comparación con la época lluviosa y al igual que pleno sol medio convencional que fue mayor durante la época seca. No obstante, para los tratamientos combinados con *Erythrina* + *Terminalia* los niveles medios convencionales obtuvieron mayor promedio de lombrices en la época seca, seguido de los tratamientos combinados con *Chloroleucon* + *Erythrina* que con los niveles medios convencionales fueron mayores en época seca. Finalmente la combinación de *Chloroleucon* + *Terminalia* fueron mayores con los insumos medios convencionales pero en la época lluviosa.

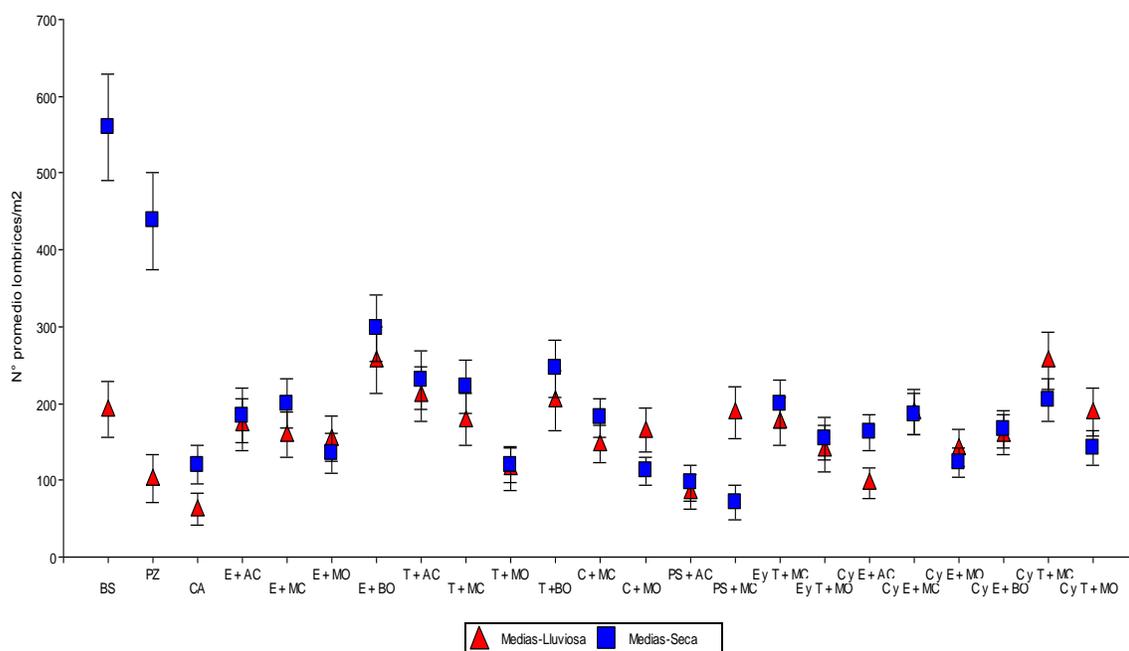


Figura 10. Medias de la abundancia de lombrices por metro cuadrado de los tratamientos estudiados en épocas lluviosa y seca. Finca Experimental del CATIE, Turrialba, Costa Rica

Para poder realizar comparaciones de medias de la abundancia por metro cuadrado, se efectuó un análisis de varianza (Cuadro 16) y contrastes no ortogonales. Estos análisis permitieron conocer el efecto de los tratamientos estudiados sobre la abundancia de lombrices en sistemas agroforestales. Los resultados indicaron diferencias significativas en el código\_ tratamiento ( $p < 0,0001$ ), épocas de muestreo ( $p = 0,0001$ ), temperatura del suelo ( $p = 0,0041$ ), humedad del área de muestreo ( $p < 0,0001$ ), y una alta diferencia significativa de la interacción de código\_ tratamiento con la época de muestreo ( $p < 0,0001$ ). El análisis de varianza no mostro diferencias significativas para sombra ( $p = 0,3834$ ) y materia orgánica ( $0,0640$ ).

Cuadro 16. Modelo lineal general y mixto. Tabla de Análisis de Varianza mostrando las pruebas de hipótesis marginal

|                           | gl | CM  | F     | Valor <i>p</i> |
|---------------------------|----|-----|-------|----------------|
| (Intercept)               | 1  | 457 | 4,82  | 0,0286         |
| Código_tratamiento        | 22 | 43  | 5,70  | <0,0001        |
| Época                     | 1  | 457 | 15,23 | 0,0001         |
| Temp_suelo_°C             | 1  | 457 | 8,31  | 0,0041         |
| Humedad                   | 1  | 457 | 61,78 | <0,0001        |
| Sombra                    | 1  | 43  | 0,78  | 0,3834         |
| M_O                       | 1  | 457 | 3,45  | 0,0640         |
| Código_tratamiento: Época | 22 | 457 | 4,09  | <0,0001        |

Con la finalidad de comparar si entre los tratamientos estudiados existían diferencias significativas, se realizaron comparaciones entre la hipótesis de los tratamientos testigo frente al resto de los tratamientos bajo manejo de sombra y niveles de fertilización (TES\_RESTO) durante la época lluviosa. Se encontraron diferencias significativas ( $p = 0,0186$ ) debido al uso del suelo de cada tratamiento. Las comparaciones mostraron diferencias significativas entre el tratamiento testigo bosque secundario y la combinación de los tratamientos testigos pastizal más cañal (BS\_PZ+CA) durante la época lluviosa ( $p = 0,0036$ ); los tratamientos a pleno sol alto convencional y pleno sol medio convencional (PS+AC\_PS+MC) en época lluviosa ( $p = 0,0037$ ). Los tratamientos combinados *Chloroleucon* + *Terminalia* bajo sus distintos niveles de fertilización y *Chloroleucon* + *Erythrina* también bajo sus distintos niveles (CT\_CE) en época lluviosa ( $p = 0,0045$ ); los tratamientos de *Erythrina* orgánico intensivo y *Erythrina* bajo orgánico (EMO\_EBO) época lluviosa ( $p = 0,0402$ ). Las combinaciones de los tratamientos *Chloroleucon* + *Erythrina* alto convencional y *Chloroleucon* + *Erythrina* medio convencional (CEAC\_CEMC) en época lluviosa ( $p = 0,0044$ ).

Los contrastes realizados sobre los tratamientos testigos bosque secundario frente a pastizal más cañal (BS\_PZ+CA) en época seca también mostraron diferencias significativas ( $p = 0,0002$ ); los tratamientos testigos pastizal y cañal (PZ\_CA) época seca mostraron diferencias altamente significativas ( $p < 0,0001$ ), mientras que los tratamientos a pleno sol versus el resto de los tratamientos (PS\_RESTO) en época seca también mostraron diferencias altamente significativas ( $p < 0,0001$ ). Los tratamientos *Terminalia* orgánico intensivo versus *Terminalia* bajo orgánico (TMO\_TBO) época seca mostraron diferencias significativas ( $p = 0,0027$ ). Al igual que en la época lluviosa, los tratamientos de *Erythrina* orgánico intensivo versus *Erythrina* bajo orgánico (EMO\_EBO) en época seca mostraron diferencias significativas ( $p = 0,0008$ ).

Los contrastes de los tratamientos testigos bosque secundario en la época lluviosa versus bosque secundario en la época seca (BSLL\_BSSEC) y pastizal en época lluviosa versus pastizal en época seca (PZLL\_PZSEC) mostraron diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ); los

tratamientos cañal en la época lluviosa versus cañal en época seca (CALL\_CASEC) mostraron diferencias significativas ( $p = 0,0094$ ). Como último contraste se probaron la hipótesis de los tratamientos a pleno sol en época seca versus a pleno sol época lluviosa (PSSEC\_PSLL) los cuales mostraron diferencias significativas ( $p = 0,0065$ ) (Cuadro 17).

*Cuadro 17. Pruebas de hipótesis para contrastes de la abundancia de lombrices en las épocas lluviosa y seca. Finca experimental del CATIE, Turrialba, Costa Rica*

| Contraste | SAF y otros usos de suelo | p-valor |
|-----------|---------------------------|---------|
| 1         | TES_RESTO                 | 0,0186  |
| 2         | BS_PZ+CA                  | 0,0036  |
| 3         | PSAC_PSMC                 | 0,0037  |
| 4         | CT_CE                     | 0,0045  |
| 5         | EMO_EBO                   | 0,0402  |
| 6         | CEAC_CEMC                 | 0,0044  |
| 7         | BS_PZ+CA_SEC              | 0,0002  |
| 8         | PZ_CA_SEC                 | <0,0001 |
| 9         | PS_RESTO_SEC              | <0,0001 |
| 10        | TMO_TBO_SEC               | 0,0027  |
| 11        | EMO_EBO_SEC               | 0,0008  |
| 12        | BSLL_BSSEC                | <0,0001 |
| 13        | PZLL_PZSEC                | <0,0001 |
| 14        | CALL_CASEC                | 0,0094  |
| 15        | PSSEC_PSLL                | 0,0065  |
| Total     |                           | <0,0001 |

Código de los contrastes: TES\_RESTO: testigos vs resto de los tratamientos; BS\_PZ+CA: bosque secundario vs pastizal más cañal; PSAC\_PSMC: pleno sol alto convencional vs pleno sol medio convencional; CT\_CE: *Chloroleucon* + *Terminalia* vs *Chloroleucon* + *Erythrina*; EMO\_EBO: *Erythrina* orgánico intensivo vs *Erythrina* bajo orgánico; CEAC\_CEMC: *Chloroleucon* + *Erythrina* alto convencional vs *Chloroleucon* + *Erythrina* medio convencional; BS\_PZ+CA\_SEC: bosque secundario vs pastizal más cañal época seca; PZ\_CA\_SEC: pastizal vs cañal época seca; PS\_RESTO\_SEC: pleno sol vs resto de los tratamientos época seca; TMO\_TBO\_SEC: *Terminalia* orgánico intensivo vs *Terminalia* bajo orgánico; EMO\_EBO\_SEC: *Erythrina* orgánico intensivo vs *Erythrina* bajo orgánico época seca; BSLL\_BSSEC: bosque secundario época lluviosa vs bosque secundario época seca; PZLL\_PZSEC: pastizal época lluviosa vs pastizal época seca; CALL\_CASEC: cañal época lluviosa vs cañal época seca; PSSEC\_PSLL: pleno sol época seca vs pleno sol época lluviosa

### 5.3.2 Biomasa de lombrices en sistemas agroforestales con café convencional y orgánico y otros sistemas de uso del suelo durante la época lluviosa y seca

Los datos de la variable biomasa también fueron procesados por modelos lineales generales y mixtos y se efectuó un análisis de varianza que mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) respecto al efecto fijo de código\_tratamiento, y las covariables humedad y sombra, además de la interacción de época\*código\_tratamiento. El análisis de varianza no encontró diferencias significativas en el efecto fijo de época y las covariables materia orgánica y temperatura del suelo. Esto quiere decir que los factores mencionados por sí solos no fueron determinantes para la biomasa de lombrices en los sistemas agroforestales y otros usos de suelo estudiados. Los tratamientos que mostraron mayores valores de biomasa de lombrices fueron pastizal (186,49 g/m<sup>2</sup>) y bosque secundario (196,74 g/m<sup>2</sup>) en época seca.

Los menores valores de biomasa de lombrices los mostraron los tratamientos a pleno sol alto convencional (PS+AC = 20,93 g/m<sup>2</sup>); pleno sol medio convencional (PS+MC = 22,53 g/m<sup>2</sup>) en época seca; pleno sol alto convencional (PS+AC = 24,77 g/m<sup>2</sup>); cañal (CA = 28,11 g/m<sup>2</sup>) y la combinación de *Chloroleucon* + *Erythrina* alto convencional (CyE+AC = 36,42 g/m<sup>2</sup>) en época lluviosa; las combinaciones de *Chloroleucon* + *Erythrina* orgánico intensivo (CyE+MO = 38,06 g/m<sup>2</sup>); *Chloroleucon* + *Terminalia* orgánico intensivo (CyT+MO = 41,50 g/m<sup>2</sup>); *Chloroleucon* orgánico intensivo (C+MO = 41,87 g/m<sup>2</sup>) época seca; pastizal (PZ = 43,58 g/m<sup>2</sup>) época lluviosa; cañal (CA = 44,61 g/m<sup>2</sup>); *Terminalia* orgánico intensivo (T+MO = 45,30 g/m<sup>2</sup>); las combinaciones *Chloroleucon* + *Erythrina* alto convencional (CyE+AC = 47,62 g/m<sup>2</sup>); *Chloroleucon* + *Erythrina* bajo orgánico (CyE+BO = 48,03 g/m<sup>2</sup>) época seca; *Terminalia* orgánico intensivo (T+MO = 49,61 g/m<sup>2</sup>); *Chloroleucon* medio convencional (C+MC = 51,58 g/m<sup>2</sup>) época lluviosa; las combinaciones de *Erythrina* + *Terminalia* orgánico intensivo (EyT+MO = 52,35 g/m<sup>2</sup>); *Chloroleucon* + *Erythrina* medio convencional (52,92 g/m<sup>2</sup>); *Chloroleucon* medio convencional (C+MC = 54,77 g/m<sup>2</sup>) época seca; *Chloroleucon* + *Erythrina* orgánico intensivo (CyE+MO = 54,96 g/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Erythrina* orgánico intensivo (E+MO = 55,54 g/m<sup>2</sup>); *Chloroleucon* + *Terminalia* (CyT+MC = 62,93 g/m<sup>2</sup>) época seca; *Chloroleucon* + *Erythrina* bajo orgánico (CyE+BO = 63,00 g/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Erythrina* alto convencional (E+AC = 65,63 g/m<sup>2</sup>); *Erythrina* medio convencional (E+MC = 67,42 g/m<sup>2</sup>) época seca; *Chloroleucon* orgánico intensivo (C+MO = 69,00 g/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Erythrina* + *Terminalia* medio convencional (EyT+MC = 71,01 g/m<sup>2</sup>) época seca; *Erythrina* medio convencional (E+MC = 72,13 g/m<sup>2</sup>); pleno sol medio convencional (PS+MC = 73,14 g/m<sup>2</sup>) y la combinación de *Chloroleucon* + *Erythrina* medio convencional (CyE+MC = 73,87 g/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Terminalia* medio convencional (T+MC = 74,15 g/m<sup>2</sup>) época seca; *Erythrina* + *Terminalia* medio convencional (EyT+MC = 75,40 g/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Terminalia* alto convencional (T+AC = 76,04 g/m<sup>2</sup>) época seca; *Erythrina* alto convencional (E+AC = 76,34 g/m<sup>2</sup>); *Erythrina* + *Terminalia* orgánico intensivo (EyT+MO = 77,50 g/m<sup>2</sup>), bosque secundario (BS = 78,27 g/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Chloroleucon* + *Terminalia* orgánico intensivo (CyT+MO = 78,37 g/m<sup>2</sup>); *Terminalia* medio convencional (T+MC = 78,46 g/m<sup>2</sup>)

época lluviosa; *Terminalia* bajo orgánico (T+BO = 80,10 g/m<sup>2</sup>) época seca; *Terminalia* bajo orgánico (T+BO = 83,24 g/m<sup>2</sup>); *Erythrina* orgánico intensivo (E+MO = 85,31 g/m<sup>2</sup>); *Terminalia* alto convencional (T+AC = 85,97 g/m<sup>2</sup>); *Chloroleucon* + *Terminalia* (CyT+MC = 88,45 g/m<sup>2</sup>) época lluviosa; *Erythrina* bajo orgánico (E+BO = 100,23 g/m<sup>2</sup>) época seca; *Erythrina* bajo orgánico (E+BO = 126,78 g/m<sup>2</sup>) época lluviosa (Cuadro 18).

Nuestros resultados fueron comparativamente similares a los informados por Sánchez De-León *et al.* 2006 al evaluar los primeros años en el ensayo de sistemas agroforestales con café sobre la biomasa de lombrices en los tratamientos pleno sol alto convencional (20 g/m<sup>2</sup>), *Erythrina* alto convencional (56 g/m<sup>2</sup>), lo que significaría que nuestros resultados después de nueve años de haber sido evaluados, los valores no hayan aumentado ni se hayan visto reducidos por efecto de que se un sistema abierto o que la especie en asocio bajo niveles de insumos convencionales hayan influido de manera significativa.

No obstante, Sánchez De- León *et al.* 2006; Aquino *et al.* 2008, reportaron con *Erythrina* medio convencional similares valores a los nuestros entre 63 g/m<sup>2</sup> y 68 g/m<sup>2</sup> en los primeros años de evaluación así como ocurrió con el pleno sol que siempre muestra biomasa por debajo de los 25 g/m<sup>2</sup>. Cabe mencionar que los resultados reportados en este trabajo considera el comportamiento de la biomasa de lombrices tanto en la época lluviosa y seca y ambos valores fueron entre las dos épocas similares comparativamente, es decir que sobre este tratamiento el efecto tanto de la sombra como del insumo aplicado no haya influenciado o afectado en cuanto a épocas de evaluación y que estos valores se mantuvieron con el tiempo.

Por otro lado, a la respuesta de los resultados basados en las evaluaciones de los autores mencionados anteriormente, el manejo y/o práctica a los tratamientos en SAF por lo general tienden a disminuir la biomasa de lombrices de tierra en sistemas bajo insumos convencionales con el paso del tiempo, por ello es que sobre la influencia de los niveles de insumos convencionales se haya reportado los valores más bajos tras monitorios continuos a lombrices en SAF. Lo que explicaría que los sistemas bajo insumos orgánicos, la biomasa tiende a mantenerse o a incrementarse por las condiciones físico-químicas del suelo (Brito-Vega *et al.* 2006), y por la calidad de residuos orgánicos que permiten alimentar a las lombrices. Lo anterior, pudo haber ocurrido con el tratamiento *Erythrina* bajo orgánico en las épocas lluviosa y seca, que no bajaron de los 126 g/m<sup>2</sup>, presentando los mayores valores en biomasa de lombrices frente al resto de los tratamientos SAF.

*Cuadro 18. Medias ajustadas y errores estándares para la biomasa de lombrices (g/ m<sup>2</sup>) usando modelos lineales generales y mixtos durante las épocas lluviosa y seca. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica*

| Época    | Código_tratamiento | Medias | E.E.  |   |
|----------|--------------------|--------|-------|---|
| Seca     | PS + AC            | 20,93  | 10,18 | A |
| Seca     | PS + MC            | 22,53  | 12,72 | A |
| Lluviosa | PS + AC            | 24,77  | 10,39 | A |
| Lluviosa | CA                 | 28,11  | 12,90 | A |
| Lluviosa | C y E + AC         | 36,42  | 10,40 | A |
| Seca     | C y E + MO         | 38,06  | 9,76  | A |
| Seca     | C y T + MO         | 41,50  | 10,66 | A |
| Seca     | C + MO             | 41,87  | 11,00 | A |
| Lluviosa | PZ                 | 43,58  | 35,15 | A |
| Seca     | CA                 | 44,61  | 12,72 | A |
| Seca     | T + MO             | 45,30  | 11,03 | A |
| Seca     | C y E + AC         | 47,62  | 9,48  | A |
| Seca     | C y E + BO         | 48,03  | 9,70  | A |
| Lluviosa | T + MO             | 49,61  | 12,45 | A |
| Lluviosa | C + MC             | 51,58  | 11,06 | A |
| Seca     | E y T + MO         | 52,35  | 12,80 | A |
| Seca     | C y E + MC         | 52,92  | 12,41 | A |
| Seca     | C + MC             | 54,77  | 9,83  | A |
| Lluviosa | C y E + MO         | 54,96  | 11,07 | A |
| Seca     | E + MO             | 55,54  | 11,12 | A |
| Seca     | C y T + MC         | 62,93  | 11,21 | A |
| Lluviosa | C y E + BO         | 63,00  | 11,47 | A |
| Seca     | E + AC             | 65,63  | 14,27 | A |
| Seca     | E + MC             | 67,42  | 11,08 | A |
| Lluviosa | C + MO             | 69,00  | 12,83 | A |
| Seca     | E y T + MC         | 71,01  | 11,70 | A |
| Lluviosa | E + MC             | 72,13  | 11,89 | A |
| Lluviosa | PS + MC            | 73,14  | 13,69 | A |
| Lluviosa | C y E + MC         | 73,87  | 17,18 | A |
| Seca     | T + MC             | 74,15  | 13,05 | A |
| Lluviosa | E y T + MC         | 75,40  | 13,12 | A |
| Seca     | T + AC             | 76,04  | 11,51 | A |
| Lluviosa | E + AC             | 76,34  | 15,51 | A |
| Lluviosa | E y T + MO         | 77,50  | 14,87 | A |
| Lluviosa | BS                 | 78,27  | 25,16 | A |
| Lluviosa | C y T + MO         | 78,37  | 11,68 | A |
| Lluviosa | T + MC             | 78,46  | 13,89 | A |
| Seca     | T +BO              | 80,10  | 13,58 | A |
| Lluviosa | T +BO              | 83,24  | 17,17 | A |
| Lluviosa | E + MO             | 85,31  | 11,88 | A |
| Lluviosa | T + AC             | 85,97  | 11,83 | A |
| Lluviosa | C y T + MC         | 88,45  | 13,99 | A |
| Seca     | E + BO             | 100,23 | 16,07 | A |
| Lluviosa | E + BO             | 126,78 | 19,38 | A |
| Seca     | PZ                 | 186,49 | 33,68 | B |
| Seca     | BS                 | 196,74 | 22,65 | B |

Código de los tratamientos: CA: Cañal; PS+MC y AC: Pleno sol medio y alto convencional; BS: Bosque secundario; PZ: Pastizal; T+AC, MC, MO, BO: *Terminalia* alto convencional, medio convencional, orgánico intensivo, bajo orgánico; CyE+AC, MC, MO, BO: *Chloroleucon* y *Erythrina* alto convencional, medio convencional, orgánico intensivo, bajo orgánico; C+MC y MO: *Chloroleucon* medio convencional y medio orgánico; CyT+MC y MO: *Chloroleucon* y *Terminalia* medio convencional y orgánico intensivo; E+AC, MC, MO, BO: *Erythrina* alto convencional, medio convencional, orgánico intensivo, bajo orgánico;

La Figura 11 muestra que durante la época seca los tratamientos testigos bosque secundario, pastizal y cañal alcanzaron los mayores valores de biomasa de lombrices en  $g/m^2$ . En los sistemas agroforestales de café con *Erythrina* bajo orgánico obtuvo la mayor biomasa de lombrices en la época lluviosa; *Terminalia* alto convencional mostró mayor biomasa de lombrices en la época lluviosa. *Chloroleucon* orgánico intensivo mostró mayor biomasa de lombrices en la época lluviosa y *Chloroleucon* medio convencional durante la época seca.

El tratamiento a pleno sol medio convencional obtuvo la mayor biomasa durante la época lluviosa en comparación con pleno sol alto convencional en época seca. Los tratamientos combinados con dos especies arbóreas *Erythrina* + *Terminalia* orgánico intensivo fueron mayor en biomasa de lombrices en época lluviosa; las combinaciones de *Chloroleucon* + *Erythrina* medio convencional en época lluviosa alcanzaron la mayor biomasa de lombrices y la combinación de *Chloroleucon* + *Terminalia* medio convencional tuvo la mayor biomasa de lombrices en comparación con *Chloroleucon* + *Terminalia* orgánico intensivo en época seca.

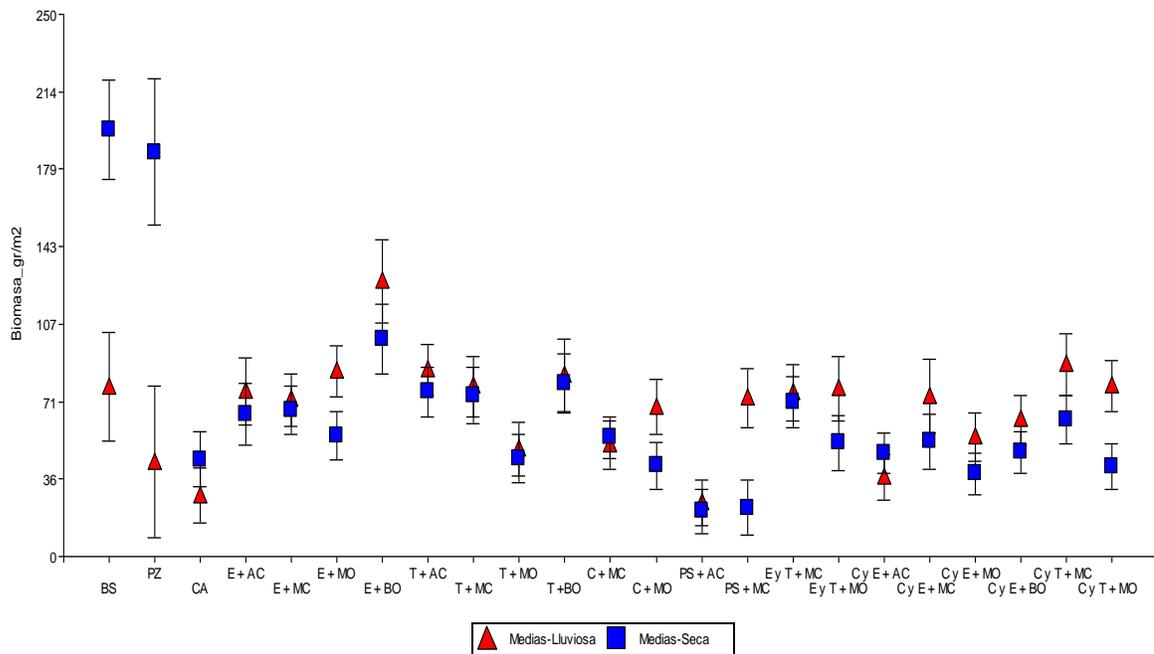


Figura 11. Medias de la biomasa de lombrices por metro cuadrado de los tratamientos estudiados en las épocas lluviosa y seca. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica

Para comparar el efecto de los tratamientos de sistemas agroforestales y otros usos del suelo, se efectuó un análisis de varianza (Cuadro 19) y contrastes no ortogonales. Los resultados indicaron diferencias significativas para código\_tratamiento ( $p < 0,0001$ ) que está dado por el tipo de manejo de fertilización y de sombra de especies arbóreas con café, además de las covariables humedad ( $p < 0,0001$ ); sombra ( $p = 0,0442$ ) y la interacción de

época\*código\_tratamiento ( $p < 0,0001$ ). Esto quiere decir que las diferencias fueron debidas a la época ( $p = 0,7599$ ), materia orgánica ( $p = 0,2372$ ) y la temperatura de suelo ( $p = 0,2371$ ).

*Cuadro 19. Análisis de varianza mostrando las pruebas de hipótesis marginal para biomasa de lombrices. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica*

|                           | gl | CM  | F     | Valor $p$ |
|---------------------------|----|-----|-------|-----------|
| (Intercept)               | 1  | 457 | 0,03  | 0,8596    |
| Época                     | 1  | 457 | 0,09  | 0,7599    |
| Código_tratamiento        | 22 | 43  | 4,29  | <0,0001   |
| M_O                       | 1  | 457 | 1,40  | 0,2372    |
| Temp_suelo_°.C            | 1  | 457 | 1,40  | 0,2371    |
| Humedad                   | 1  | 457 | 37,85 | <0,0001   |
| Sombra                    | 1  | 43  | 4,30  | 0,0442    |
| Época: Código_tratamiento | 22 | 457 | 3,01  | <0,0001   |

Los contrastes realizados para la comparación de los tratamientos mostraron diferencias significativas al comparar los tratamientos a pleno sol con el resto de los tratamientos ( $p = 0,0153$ ), lo cual quiere decir que los tratamientos a pleno sol bajo los manejos convencionales (alto y medio) son significativamente diferentes a los tratamientos asociados con una y dos especies arbóreas bajo niveles convencionales y orgánicos. Los tratamientos pleno sol alto convencional son significativamente diferente a los tratamientos pleno sol medio convencional ( $p = 0,0004$ ). Los tratamientos combinados *Chloroleucon* + *Terminalia* bajo los niveles de fertilización medio convencional y orgánico intensivo también mostraron diferencias significativas ( $p = 0,0111$ ) en comparación con *Chloroleucon* + *Erythrina* bajo sus cuatro niveles de fertilización medio y alto convencional, bajo y orgánico intensivo. Los tratamientos *Erythrina* convencional mostraron diferencias significativas ( $p = 0,0145$ ) con los tratamientos *Erythrina* orgánico; *Erythrina* orgánico intensivo y *Erythrina* bajo orgánico mostraron diferencias significativas ( $p = 0,0497$ ).

Los tratamientos combinados *Chloroleucon* + *Erythrina* alto convencional mostraron diferencias significativas ( $p = 0,0443$ ) con *Chloroleucon* + *Erythrina* medio convencional época lluviosa (Cuadro 21). Los tratamientos bosque secundario, pastizal y cañal mostraron diferencias significativas ( $p = 0,0313$ ) comparados con el resto de los tratamientos SAF. El bosque secundario mostró diferencias significativas entre pastizal y cañal ( $p = 0,0033$ ); pastizal fue significativamente diferente que cañal ( $p = 0,0001$ ); en la época lluviosa los tratamientos a pleno sol mostraron diferencias significativas ( $p = 0,0001$ ) con el resto de tratamientos SAF. Los tratamientos con una sola especie bajo sus diferentes niveles de fertilización mostraron diferencias significativas con los tratamientos combinados de dos especies arbóreas con diferentes niveles de fertilización ( $p = 0,0071$ ); los tratamientos de *Terminalia* mostraron diferencias significativas entre el nivel orgánico intensivo y el bajo orgánico ( $p = 0,0297$ ), como ocurrió con *Erythrina* orgánico intensivo y *Erythrina* bajo orgánico ( $p = 0,0114$ ) todos estos en época seca.

El bosque secundario en época lluviosa mostró diferencias significativas ( $p = 0,0002$ ) con bosque secundario en época seca; pastizal época lluviosa también mostró diferencias significativas con pastizal en época seca ( $p = 0,0023$ ). Los tratamientos a pleno sol en época seca fueron significativamente diferentes ( $p = 0,0002$ ) que a pleno sol en época lluviosa; el resto de los tratamientos en época seca mostraron diferencias significativas ( $p = 0,0002$ ) con el resto de los tratamientos en época lluviosa (Cuadro 20). También ocurre una provisión continua de alimentos mediante la hojarasca y muerte de raíces de los árboles que están presentes en los bosques secundarios, lo cual aumentará la biomasa de lombrices en el suelo (Hairiah *et al.* 2004; Hairiah *et al.* 2006).

Cuadro 20. Pruebas de hipótesis para contrastes de la biomasa de lombrices en las épocas lluviosa y seca. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica

| Contraste | SAF y otros usos de suelo | p-valor |
|-----------|---------------------------|---------|
| 1         | PS_RESTO                  | 0,0153  |
| 2         | PSAC_PSMC                 | 0,0004  |
| 3         | CT_CE                     | 0,0111  |
| 4         | EAC+EMC_EMO+EBO           | 0,0145  |
| 5         | EMO_EBO                   | 0,0497  |
| 6         | CEAC_CEMC                 | 0,0443  |
| 7         | TESECA_RESTO              | 0,0313  |
| 8         | BS_PZ+C_SEC               | 0,0033  |
| 9         | PZ_C_SEC                  | <0,0001 |
| 10        | PS_RESTO_SEC              | 0,0001  |
| 11        | SOLS_COMB_SEC             | 0,0071  |
| 12        | TMO_TBO_SEC               | 0,0297  |
| 13        | EMO_EBO_SEC               | 0,0114  |
| 14        | BSLL_BSSEC                | 0,0002  |
| 15        | PZLL_PZSEC                | 0,0023  |
| 16        | PSSEC_PSSL                | 0,0002  |
| 17        | RESTSEC_RESTLL            | 0,0002  |
| Total     |                           | <0,0001 |

Código de los contrastes: TES\_RESTO: testigos vs resto de los tratamientos; BS\_PZ+CA: bosque secundario vs pastizal más cañal; PSAC\_PSMC: pleno sol alto convencional vs pleno sol medio convencional; CT\_CE: *Chloroleucon* y *Terminalia* vs *Chloroleucon* y *Erythrina*; EMO\_EBO: *Erythrina* orgánico intensivo vs *Erythrina* bajo orgánico; CEAC\_CEMC: *Chloroleucon* y *Erythrina* alto convencional vs *Chloroleucon* y *Erythrina* medio convencional; BS\_PZ+CA\_SEC: bosque secundario vs pastizal más cañal época seca; PZ\_CA\_SEC: pastizal vs cañal época seca; PS\_RESTO\_SECA: pleno sol vs resto de los tratamientos época seca; TMO\_TBO\_SEC: *Terminalia* orgánico intensivo vs *Terminalia* bajo orgánico; EMO\_EBO\_SEC: *Erythrina* orgánico intensivo vs *Erythrina* bajo orgánico época seca; BSLL\_BSSEC: bosque secundario época lluviosa vs bosque secundario época seca; PZLL\_PZSEC: pastizal época lluviosa vs pastizal época seca; CALL\_CASEC: cañal época lluviosa vs cañal época seca; PSSEC\_PSSL: pleno sol época seca vs pleno sol época lluviosa.

### 5.3.3 Correlación de Pearson entre las variables abundancia y biomasa de lombrices

Considerando las dos variables de respuesta se realizó un análisis de correlación de Pearson para la abundancia y la biomasa de lombrices por metro cuadrado (Cuadro 21). Los resultados mostraron correlaciones significativas entre ambas; es decir, que existe una correlación positiva entre el número de individuos/m<sup>2</sup> con el peso total (g/m<sup>2</sup>) de lombrices ( $r = 0,90$ ).

Cuadro 21. Correlación de Pearson entre las variables de respuesta abundancia y biomasa

|                             | Peso_total_g/m <sup>2</sup> | N°_indiv/m <sup>2</sup> |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Peso_total_g/m <sup>2</sup> | 1,0000                      | 0,0000                  |
| N°_indiv/m <sup>2</sup>     | 0,9046                      | 1,0000                  |

## 5.4 Conclusiones

1. El sistema de uso de suelo Cañal “testigo” en época lluviosa presentó el nivel más bajo de abundancia (con 62,41 ind/ m<sup>2</sup>) comparativamente con los demás tratamientos, esto debido a que la dinámica de lombrices se ve interrumpida anualmente por las prácticas culturales de cosecha, uso de agroquímicos y quema . Seguidamente los tratamientos con sistemas de café en pleno sol con manejo moderado convencional en época seca (con 70,47 ind/ m<sup>2</sup>) y pleno sol con manejo alto convencional en época lluviosa (con 84,94 ind/ m<sup>2</sup>) se ubicaron respectivamente como el segundo y tercer valor más bajo. También dentro de los valores promedios inferiores a 100 ind/m<sup>2</sup>, se ubicó el sistema agroforestal integrado por las especies *Chloroleucon e.* y *Erythrina p.* con manejo alto convencional en época lluviosa (96,40 ind/ m<sup>2</sup>).
2. En término general los tratamientos bosque secundario y pastizal en época seca fueron significativamente mayores en abundancia de lombrices reportando entre 437 y 559 ind/m<sup>2</sup> en comparación con los demás tratamientos en estudio. Sin embargo, no se pudo mostrar esta misma tendencia durante la época lluviosa ya que solo se reportaron en pastizal 102 y en bosque 192 ind/m<sup>2</sup>. Probablemente el importante aumento en la humedad del suelo en estos sistemas en época lluviosa puede explicar la marcada disminución en el número de individuos.
3. Los resultados permiten concluir que aunque no hubo influencias significativas entre la mayoría los sistemas agroforestales, el asocio de café con *Erythrina p.* en manejo bajo orgánico presentó el mejor nivel de abundancia de lombrices tanto en época lluviosa como en seca.

4. Entre todos los tratamientos bosque secundario (con 196,74 g/m<sup>2</sup>) y pastizal (con 186,49 g/m<sup>2</sup>) durante época seca fueron los que respectivamente presentaron mayor biomasa de lombrices. En cuanto a sistemas agroforestales, el tratamiento con *Erythrina* en manejo bajo orgánico tanto en época lluviosa (con 126 g/m<sup>2</sup>) como seca (con 100,23 g/m<sup>2</sup>) fue el que obtuvo mayor biomasa de lombrices. Los tratamientos a pleno sol bajo manejo de insumos alto y medio convencional en época lluviosa y seca fueron los que presentaron las densidades de lombrices más bajas (entre 70 a 84 ind/m<sup>2</sup>).

## 5.5 Recomendaciones

1. Que los próximos estudios sobre lombrices durante época lluviosa y seca, en el ensayo de sistemas agroforestales con café se complementen con más detalle con análisis químicos, físicos y biológicos del suelo, además de relacionarlos con el rendimiento de café a fin de dar una mayor respuesta sobre la influencia del manejo de insumos orgánicos y convencionales.
2. Debido a que la abundancia de lombrices fue mayor en los tratamientos pastizal y bosque secundario en época seca, es importante seguir evaluando y profundizando sobre la dinámica y el comportamiento de lombrices en el tiempo y época.
3. Se recomienda que independientemente de los resultados obtenidos para la abundancia y biomasa de lombrices en sistemas agroforestales se tome en cuenta la profundidad de muestreo a 20 cm. Esto con el fin de obtener el mayor número y peso de lombrices con un muestreo más completo.
4. Se recomienda realizar evaluaciones continuas a la macrofauna de lombrices en los diferentes sistemas agroforestales con café; ya que son uno de los principales indicadores de la sostenibilidad del suelo.

## 5.6 Literatura citada

- Anderson, J; Ingram, J. 1993. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Wallingford, England. CAB International. 2 ed. 221 p.
- Araujo, Y.; López-Hernández, D. 1999. Caracterización de las poblaciones de lombrices de tierra en un sistema de agricultura orgánica ubicada en una sábana en el amazonas venezolano. *Ecotropicos* 12(1): 49-55.
- Aquino, A; De Melo E; Do Santo M; Casanoves F. 2008. Poblaciones de gusanos en sistemas agroforestales con café convencional y orgánico. *Ciênc. agrotec.* 32(4):1184 - 1188.

- Argeñal, P. 2011. Contribución de las cercas vivas para controlar el estrés calórico en vacas lecheras en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 89 p.
- Brito-Vega, H; Espinosa-Vitoria, D; Figueroa-Sandoval, B; Frago, C; Patrón-Ibarra, J. 2006. Diversidad de lombrices de tierra con labranza de conservación y convencional. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 24, Núm. 1. 99-108 p.
- Castro, P; Burbano, H y Bonilla, C. 2007. Abundancia y biomasa de organismos edáficos en tres usos del terreno en el altiplano de Pasto, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. *Acta Agronómica*, vol. 56, n. 3, 127-130 p.
- CATIE. 2012. Datos Meteorológicos año 2012. Estación Meteorológica CATIE. Hoja de Excel.
- Fraser, P; Williams, P y Haynes, R. 1996. Earthworm species, population size and biomass under different cropping systems across the Canterbury Plains, New Zealand. *Applied Soil Ecology* 3, 49-57.
- Fragoso, C. 2001. Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta) diversidad, ecología y manejo. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s). N: 1: 131-171. Disponible en: <http://www1.inecol.edu.mx/azm/documentos/especial/especial-1h-Fragoso2.pdf>. Consultado 12.07.13.
- Hairiah, K; Sulistyani, H; Suprayogo, D; Widiyanto; Purnomosidhi, P; Widodo, H; Van Noordwijk, M. 2004. Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. *Forest Ecology and Management* 224. 45-57.
- Hairiah, K; Sulistyani, H; Suprayogo, D; Widiyanto, P; Harto, Rudy; Van, Meine. 2006. Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. *Forest Ecology and Management* 224 (2006) 45–57.
- Hendrix, P and Bohlen. P. 2002. Exotic earthworm invasions in North America: ecological and policy implications. *BioScience* 52:801–811.
- Huan Li; Dan, X; Chong, W; Xiaolin, Li; Yi Lou. 2012. Effects of epigeic earthworm (*Eisenia fetida*) and arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) on enzyme activities of a sterilized soil–sand mixture and nutrient uptake by maize. *Biol Fertil Soils* 48:879–887.
- InfoStat. 2012. InfoStat, versión 2012. Manual del usuario. Grupo InfoStat,FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Editorial Brujas, Argentina.

- Jiménez, J y Decaëns, T. 2004. The impact of soil organisms on soil functioning under neotropical pastures: a case study of a tropical anecic earthworm species. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 103:329.
- Lavelle, P; Pashanasi, B. 1989. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). En: *Pedobiologia* 33:283-291.
- Lavelle, P; Fragoso, C. 2000. The Iboy-Macrofauna project. Report of an international workshop held at Bondy (France) 19-23. Bondy, France. Disponible en línea: <http://www.bondy.ird.fr/lest/iboy/workshop-report.pdf>. Consultado el 21.05.13.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica). 2012. Presentación “Cambio climático y su efecto en las actividades agrícolas en la zona de Turrialba”. Orosí. 38 diapositivas.
- Merlo, M. 2007. Comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* var caturra), el poró (*Erythrina poeppigiana*), el amarillón (*Terminalia amazonia*) y el cashá (*Chloroleuconeuery cyclum*) en sistemas agroforestales bajo manejos convencionales y orgánicos en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 92 p.
- Neale, S y Scullion, J. 1998. A comparison between organic and conventional farming systems with respect to earthworm biomass and its effects. In: *Proceedings of Conference on Mixed Farming Systems in Europe* eds H van Keulen EA Lantinga y HH van Laar, Landbouwniversiteit Wageningen pp 85-90.
- Ortiz-Ceballos, A; Fragoso, C. 2004. Earthworm populations under tropical maize cultivation: the effect of mulching with velvetbean. *Biol Fertil Soils* (2004) 39:438–445.
- Oades JM 1993. The role of biology in the formation, stabilisation and degradation of soil structure. *Geoderma* 56, 377-40.
- Pashanasi, B., P. Lavelle & J. Alegre. 1994. Efecto de lombrices de tierra (*Pontoscolex corethrurus*) sobre el crecimiento de cultivos anuales y características físicas y químicas en suelos de Yurimaguas. *Fol. Amazon.* 6: 5-46.
- Pashanasi, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía Peruana. *Folia Amazónica* vol. 12 (1-2).
- Pérez-Molina, J; Cordero, R. 2012. Recuperación de tres coberturas forestales de altura media en Costa Rica: análisis de los oligoquetos, el mantillo y suelo. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 60 (4): 1431-1443.

- Rodríguez, I; Crespo, G; Rodríguez, C; Castillo, E; Fraga, S. 2002. Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas naturales puras o intercaladas con leucaena para la ceiba de toros. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 36(2); 181-186.
- Sánchez-De León, Y; De Melo, E; Soto, G; Johnson J; Lugo-Perez, J. 2006. Earthworm Populations, Microbial Biomass and Coffee Production in Different Experimental Agroforestry Management Systems in Costa Rica. *Caribbean Journal of Science*, Vol. 42, No. 3, 397-409.
- Sánchez, S y Hernández, M. 2011. Comportamiento de comunidades de lombrices de tierra en dos sistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes versión* ISSN 0864-0394. vol.34 no.3.
- Six, J; Feller, C; Deneff, K; Ogle, S; Sa, J; Albrecht, A. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-effects of no-tillage. *Agronomie* 22:755–775.
- Suthar, S.2009. Earthworm communities a bioindicator of arable land management practices: A case study in semiarid region of India. *Ecological Indicators*. 9:588.
- 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.
- Virginio, E; Haggar, JP; Staver, CP. 2002. Sostenibilidad y sinergismo en sistemas agroforestales con café: estudio a largo plazo de interacciones agroecológicas. *Café-Cacao* (1):31-35.
- Virginio, E. 2005. Ensayo de sistemas agroforestales con café: estudios a largo plazo de relaciones agroecológicas. Curso de metodología de investigación agroforestal”. CATIE, Turrialba, Costa Rica.