

4 ARTÍCULO 1: ABUNDANCIA Y BIOMASA DE LOMBRICES EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ CONVENCIONAL Y ORGÁNICO DURANTE LA ÉPOCA LLUVIOSA EN TURRIALBA, COSTA RICA

4.1 Introducción

En los últimos años, el interés por estudiar los sistemas agroforestales relacionados con prácticas conservacionistas ha tomado mucha importancia sobre todo en relación a la estructura y funcionamiento del suelo y a la definición de indicadores de calidad (Aquino *et al.* 2008). El recurso suelo es un sistema natural, dinámico y complejo de alto valor, que actúa principalmente regulando la biota desde su origen y desarrollo natural a largo plazo. Sin embargo, la degradación como efecto negativo del uso no sostenible del recurso, sugiere que el manejo actual debería priorizar el aprovechamiento del suelo sin deteriorar las propiedades químicas, físicas y biológicas (Pardo-Lorcano *et al.* 2006).

La macrofauna de lombrices como principal indicador de la calidad del suelo (Stork y Eggleton 1992; Domínguez *et al.* 2009), está íntimamente relacionada con la población microbiana comprometida en los procesos de humificación, mineralización y liberación de nutrientes directamente asimilable por las plantas (Huhta *et al.* 1994). La importancia de los macroinvertebrados está dada por el efecto que generan en los procesos que determinan la fertilidad del suelo (Sánchez y Reinés 2001), y la formación de agregados sólidos que protegen a toda la materia orgánica de una ligera mineralización que modifica propiedades físicas y estructurales en los primeros horizontes donde habitan (Hendrix *et al.* 1990; Hassink *et al.* 1994). Por otra parte, los cambios en la cobertura, actividad ecológica, transformación de la vegetación (Aquino 2008), y el comportamiento ante distintas variables ambientales, hacen útiles a las lombrices de tierra para determinar la calidad y el grado de alteración ambiental con base en elementos que son aprovechables para las plantas como lo es la materia orgánica. Además, estos organismos tienen la capacidad de mejorar la distribución de humedad, aire, y temperatura en cualquier perfil del suelo (Fuentes *et al.* 1998; Lavelle *et al.* 2003; Cabrera *et al.* 2011).

Las prácticas intensas de los cultivos producen reducciones de materia orgánica de cualquier sistema de suelo, las cuales afectan negativamente a las poblaciones de lombrices (Mäder *et al.* 1996). A raíz de esto, muchos autores (Lee 1985; Haimi y Huhta 1991; Ruz-Jerez *et al.* 1992; Pashanasi, Meléndez, Szott y Lavelle 1992; Spain, Lavelle y Mariotti 1992; Sánchez y Reinés 2001) manifiestan que la tasa de residuos que sintetizan estos organismos en zonas templadas es 300 t/ha/año, en tanto que, en zonas tropicales la alta temperatura incrementa la actividad de las lombrices entre 850 a 1150 t/ha/año, donde 25 t son depositadas directamente sobre la superficie para que las plantas puedan aprovecharlas.

Sin embargo, aunque la información producida actualmente sea incipiente y escasa, es importante conocer la dinámica y comportamiento de la macrofauna de lombrices en diferentes sistemas agroforestales de café ya sea en asocio o no a los diferentes tipos de sombra y niveles de manejo de insumos de agroquímicos (Aquino *et al.* 2008).

Asimismo, es conocido que las leguminosas benefician al cultivo y a las poblaciones de lombrices tropicales como ya se ha observado en plantaciones de la Amazonia peruana (Lavelle y Pashanasi 1989; Fragoso *et al.* 1999), en el Llano colombiano (Jiménez *et al.* 2003; Ortiz-Cevallos 2004) y también en sistemas agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica (Sánchez *et al.* 2006; Aquino *et al.* 2008). Por tal motivo, el objetivo de esta investigación es comparar y valorar la abundancia y biomasa actual de lombrices en diferentes sistemas agroforestales de café orgánico y convencional teniendo como referencia la evaluación de Aquino *et al.* (2008) durante la época lluviosa.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Ubicación del estudio

La investigación se realizó en la finca experimental del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), ubicada en el Cantón Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica, en las coordenadas 9° 53' 44" N y 83° 40' 7" O. Este sitio se ubica a una altitud de 600 msnm; corresponde a la zona de vida bosque tropical húmedo con temperatura y precipitación media anual de 21,8°C y 2600 mm y una humedad relativa de 88,1%. En la finca se han establecido ensayos de sistemas agroforestales (SAF) de café en una superficie de 9,2 ha, establecidos en el año 2000 con una visión a largo plazo para evaluar las interacciones agroecológicas entre combinaciones de manejo de insumos y de sombra (Montenegro 2005). Los suelos corresponden al orden Ultisol e Inceptisol con características de aluviales mixtos, de textura franco y/o franco-arcilloso (Virginio *et al.* 2002). El régimen húmedo de estos suelos corresponde a los subórdenes Typic Endoaquepts y Typic Endoaquults según la clasificación taxonómica de suelos de la USDA (Soil Survey Staff 1999). Los suelos ultisoles son químicamente pobres, de color rojizo, lixiviados, ácidos producto de pérdidas de las bases Ca, Mg, K, son susceptibles a la compactación debido a climas húmedos y largos periodos secos (Merlo 2007). Los suelos inceptisoles son jóvenes, de horizontes poco amplios pero con reservas de materiales meteorizados que les permiten ser apropiados para cualquier tipo de cultivo (Niewenhuyse 2005).

El establecimiento del ensayo consistió en lotes de café de la variedad caturra plantado a 2x1 m, con seis diferentes tipos de sombra y tres tipos de sistemas agroforestales combinando dos especies forestales: *Chloroleucon eurycyclum* y *Erythrina poeppigiana*; *C. eurycyclum* y *Terminalia amazonia*, *E. poeppigiana* y *T. amazonia*, las cuales fueron plantadas inicialmente a 6x4 m en diferentes sistemas de manejo convencional y orgánico.

En la finca también se plantaron cafetos de la variedad Costa Rica 95 en microparcelas. El diseño experimental del ensayo consistió en un diseño de bloques completos con tres repeticiones con tratamientos en un arreglo factorial incompleto. Debido a la ausencia de algunos tratamientos como (*Chloroleucon* + AC; *Terminalia* y *Chloroleucon* + AC; *Erythrina* y *Terminalia* + AC; Pleno sol + MO; *Chloroleucon* + BO; *Chloroleucon* y *Terminalia* + BO; *Erythrina* y *Terminalia* + BO; Pleno sol + BO), se contó con un total de 20 tratamientos SAF¹. De esa manera, se trabajó con los tratamientos que combinaron el 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). Sin embargo, este trabajo considera sólo los tratamientos cuyas combinaciones fueron una sola especie e insumos alto y medio convencional y orgánico intensivo; además de los sistemas de cultivo a pleno sol alto y medio convencional (Cuadros 1 y 2). El alcance anterior permitió la valoración comparativa sobre la metodología y resultados obtenidos por Aquino *et al.* (2008) quien evaluó las poblaciones de lombrices en sistemas agroforestales con café bajo insumos orgánicos y convencionales en 2005.

Cuadro 1. Diseño del experimento llevado a cabo en la finca experimental del CATIE, Turrialba, Costa Rica

Tipos de sombra	1. <i>Erythrina poeppigiana</i> “Poró”	2. <i>(Terminalia amazonia)</i> “Terminalia”	3. <i>(Chloroleucon eurycyclum)</i> “Cashá”	4. <i>(Pleno sol)</i> “PS”
Tipo de manejos de insumos	Alto convencional (AC)	Alto convencional (AC)		Alto convencional (AC)
	Medio convencional (MC)	Medio convencional (MC)	Medio convencional (MC)	Medio convencional (MC)
	Orgánico intensivo (MO)	Orgánico intensivo (MO)	Orgánico intensivo (MO)	

Fuente: Virginio (2005)

¹ 20 tratamientos combinados tipo de manejo de insumos y tipo de sombras distribuidos en los tres bloques

Cuadro 2. Detalle de los niveles de insumos y manejo anual programado desde el 2005 para cada nivel en los ensayos comparativos SAF convencionales y orgánicos en la finca experimental del CATIE, Turrialba, Costa Rica

Nivel de manejo	Fertilización al suelo	Fertilización foliar	Control de malezas	Control de enfermedades	Regulación de sombra
Alto convencional (AC)	2 abonadas con F** completa (1000 kg/ha). 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
Medio convencional (MC)	2 abonadas con F completa (500 kg/ha). 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 T terminalia y cashá
Orgánico intensivo (MO)	2 abonadas gallinaza (10 ton/ha). 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

F: fertilización completa (NPK), *FN: fertilización nitrogenada (Úrea).

Fuente: Virginio (2005)

De manera complementaria a las prácticas agroforestales indicadas en cuadro 2, en los tres niveles de manejo se realiza todos los años, según agotamiento poscosecha la poda de cafetos. El sistema de poda utilizado es el selectivo por planta (tallo y ramas agotadas). Todo el material de poda es acomodado a lo largo del terreno de cada parcela para su descomposición (Virginio 2013, comunicación personal).

4.2.2 Metodología realizada por Aquino *et al.* (2008)

Como ya se mencionó anteriormente Aquino *et al.* (2008) emplearon un diseño experimental de bloques al azar dispuestos en tres repeticiones donde se estudiaron 10 tratamientos como resultado de la combinación entre las diferentes coberturas de sombra y los niveles de manejo de insumos y el cultivo de café a pleno sol con niveles convencionales (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos combinados con tipo de sombra y niveles de manejo de insumos por Aquino et al. (2005) en la finca experimental del CATIE, Turrialba, Costa Rica

Tipos de sombra	<i>E. poeppigiana</i>	<i>T. amazonia</i>	<i>C. eurycyclum</i>	Pleno sol
Niveles de manejo de insumos	AC	AC		AC
	MC	MC	MC	MC
	MO	MO	MO	

Fuente: Aquino et al. (2008)

En el estudio se consideraron las variables de abundancia (número de individuos de lombrices por metro cuadrado) y de biomasa (peso en gramos por metro cuadrado); además, de la co-variable temperatura del suelo (°C). Las lombrices fueron recolectadas manualmente durante la época lluviosa en octubre de 2005 a una profundidad de 10 cm; para ello se utilizó un monolito de 25x25 cm. Las lombrices se cuantificaron y pesaron en cada uno de los tratamientos (T-AC, MC y MO; Ab-MO y MC, y E- AC, MC y MO; PS-AC y MC) descritos en el Cuadro 3. Para el análisis de los datos, se efectuó una prueba de varianza (ANOVA) con la aplicación de la prueba F; también se hicieron comparaciones de medias mediante la prueba de Scott Knott al 5% de probabilidad. Los datos fueron procesados empleando los programas SISVAR (citado por Ferreira 2000) e InfoStat (InfoStat 2007). Los datos de abundancia y biomasa de lombrices fueron transformados empleando la fórmula de la raíz cuadrada, con la finalidad de cumplir con los supuestos del ANOVA.

Un resumen de los principales resultados de Aquino et al. (2008) muestran que la abundancia en términos de densidad de lombrices de tierra en el tratamiento a pleno sol con alto y medio convencional fueron 78 y 115 ind/m², siendo ambos valores significativamente menores entre todos los tratamientos. En los otros tratamientos conformados por E-AC, T-AC, E-MO, y C-MC se encontraron valores entre 147 a 161 ind/m², en los tratamientos con las especies de árboles bajo manejo convencional (AC y MC), los cuales mostraron ser significativamente diferentes de los tratamientos (T-MC, E-MC), que obtuvieron promedios de 200 ind/m². Los tratamientos (C-MO, T-MO) mostraron la mayor densidad promedio (305 y 402 ind/ m², respectivamente). Así, tanto en el manejo convencional y el orgánico existieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Cuadro 4). Según estos resultados, los sistemas agroforestales que contienen aportes continuos de materia orgánica presentan un mayor número y peso de lombrices de tierra (Tian et al. 1997; Ortiz-Ceballos y Fragoso 2004; Aquino et al. 2008).

Aquino *et al.* (2008) indican que dentro de los sistemas agroforestales en Costa Rica, se considera importante la utilización de la especie *Erythrina* sp. ya que es una especie fijadora de nitrógeno, con capacidad de producir grandes cantidades de hojas ricas en este elemento y promover sombra a diferentes cultivos. No obstante, la especie *Erythrina orientalis* poseen un alto contenido de tanino que podría no ser favorable para las actividades de microorganismos y lombrices que intervienen como organismos descomponedores del suelo (Handayanto *et al.* 1992; Aquino *et al.* 2008).

Cuadro 4. Comparación de medias de tratamientos evaluados por Aquino et al. (2005) sobre la variable abundancia de lombrices en la finca experimental del CATIE, Turrialba, Costa Rica

Tratamientos	Nº ind/m ²		
PS - AC	77,87	A	
PS - MC	115,20	A	
E - AC	147,20		B
T - AC	151,47		B
E - MO	156,80		B
C - MC	161,07		B
T - MC	203,73		C
E - MC	242,13		C
C - MO	305,07		C
T - MO	402,13		C

Fuente: Aquino *et al.* (2008). Letras iguales indican que no hay diferencias significativas (Prueba de Scott-Knott, $\alpha=0.05$).

En el caso de la biomasa (Cuadro 5), los resultados obtenidos por Aquino *et al.* (2008) indican que los promedios menores se dieron en los tratamientos a pleno sol con medio convencional (31 g/m²), *Terminalia* con alto convencional (43 g/m²), *Chloroleucon* medio convencional (46 g/m²), *Terminalia* medio convencional (51 g/m²), *Erythrina* alto convencional (54 g/m²), pleno sol con alto convencional (56 g/m²). Estos resultados son significativamente diferentes a los tratamientos *Erythrina* medio convencional (63 g/m²), *Erythrina* orgánico intensivo (81 g/m²), *Terminalia* (93 g/m²) y *Chloroleucon* orgánico intensivo (96 g/m²) que fueron mayores. Aquino *et al.* (2008) encontraron que la biomasa y la densidad de lombrices tuvieron una relación de 0,23 a 0,70 g/ind², lo cual indica que el tamaño de las lombrices de tierra varía con los tratamientos. Estas variables son mayores cuando hay menos competencia por agua y nutrientes. Sin embargo, estos valores fueron superiores a los alcanzados por (Hairiah *et al.* 2006; Aquino *et al.* 2008).

Cuadro5. Comparación de medias de tratamientos evaluados por Aquino et al. (2005) sobre la variable biomasa de lombrices en la finca experimental del CATIE, Turrialba, Costa Rica

Tratamientos	g/m ²		
PS - MC	31,23	A	
T - AC	43,13	A	
PS - AC	56,25	A	
C - MC	46,73	A	
T - MC	51,88	A	
E - AC	54,24	A	
E - MC	63,84		B
E - MO	81,49		B
T - MO	93,48		B
C - MO	96,22		B

Fuente: Aquino et al. (2008). Letras iguales indican que no hay diferencias significativas (Prueba de Scott-Knott, $\alpha=0,05$).

En conclusión Aquino et al. (2008) encontraron densidades de lombrices de tierra menores en los cultivos de café a pleno sol bajo manejo convencional. No obstante, el manejo orgánico con sombra de las especies *Chloroleucon* y *Terminalia* presentaron los valores más altos tanto en abundancia como en biomasa de lombrices.

4.2.3 Metodología de campo en el 2012

La metodología empleada para el presente trabajo consistió en establecer como parámetro de evaluación y/o muestreo la época lluviosa, tal como fue tomado por Aquino et al. (2008); específicamente los meses de octubre y parte de noviembre, periodo durante el cual históricamente es el de mayor precipitación en Turrialba, Costa Rica (MAG 2012). La evaluación se efectuó en cada uno de los tratamientos establecidos en los diferentes sistemas agroforestales (SAF) con café (10 tratamientos con manejo convencional y orgánico y sombra de diferentes especies forestales) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Tratamientos SAF con café bajo sombra y tipo de manejo y áreas efectivas para el muestreo de lombrices. Finca comercial del CATIE, Turrialba, Costa Rica

Tipos de sombra	<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Chloroleucon eurycyclum.</i>	Pleno sol
Tipo de manejo	AC	AC		AC
	MC	MC	MC	MC
	MO	MO	MO	
Área efectiva del muestreo	36 x 10 m	18 x 18 m	18 x 18 m	23 x 20 m

Fuente: Merlo (2007)

El muestreo se realizó en diferentes SAF con café bajo manejo de insumos convencional y orgánico y tres tipos de sombra y pleno sol. La metodología del muestreo propuesto es destructiva; la misma se describe en detalle en el Anexo 1. Se tomó en consideración la cobertura del suelo; es decir, con poda o sin poda (definido por la condición en la que se encontraba la calle, y tomando en cuenta cuando había presencia o no de la poda del cafeto o de las especies forestales). Lo anterior consideró la aleatorización del número de mata donde se iniciaría el muestreo (Anexo 2). Asimismo, con la ayuda de una moneda se efectuaron las aleatorizaciones para saber el lado correspondiente (izquierda o derecha) para dar inicio al muestreo.

Para el muestreo de lombrices se empleó un marco de metal con dimensiones de 25x25 cm para definir el área efectiva de muestreo; las muestras se tomaron a una profundidad de 10 cm. Este procedimiento se realizó para los cuatro puntos del área efectiva de cada tratamiento según se observa en la Figura 1.

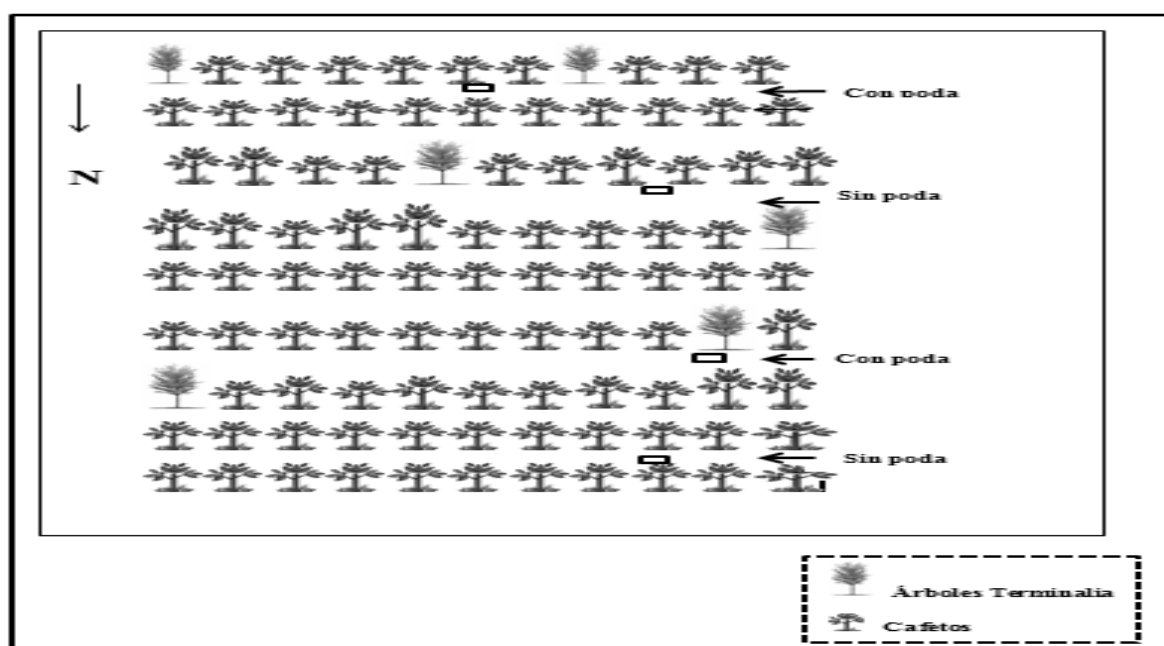


Figura 1. Simulación de área efectiva de muestreo y los criterios tomados dentro del sistema agroforestal con café con la especie *Terminalia amazonia*. Finca experimental del CATIE, Turrialba, Costa Rica

Las variables consideradas para el estudio fueron la abundancia (número de individuos/m²) y la biomasa de lombrices (g/m²); asimismo, se cuantificó cualitativamente la cantidad de materia orgánica presente en la superficie del suelo. Para ello se utilizó la siguiente escala: sin presencia de materia orgánica (0); poca materia orgánica (1); mucha materia orgánica (2). En cada lugar de muestreo previamente se tomó la temperatura del suelo con la ayuda de un termómetro con un rango de 25° a 125°C.

4.2.4 Análisis estadístico

Tal como se mencionó anteriormente, la metodología propuesta y los resultados obtenidos por el estudio de Aquino *et al.* (2008), sirvieron de base para la valoración comparativa de este trabajo. Estos autores llevaron a cabo su trabajo de campo en la época lluviosa desde el 2005 hasta el 2012. El diseño experimental de este estudio, conforme al de Aquino *et al.* (2008), está dispuesto en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los datos obtenidos en octubre 2012 durante la época lluviosa, fueron procesados y analizados mediante el software estadístico Infostat versión 2012 (Di Rienzo *et al.* 2012). Se aplicaron análisis de modelos lineales generales mixtos, ya que estos modelos permitieron ajustar problemas de heteroscedasticidad de varianzas.

Las variables de respuesta más importantes consideradas en el estudio fueron la abundancia y biomasa de lombrices; estas sirvieron de base para comparar los resultados obtenidos por Aquino *et al.* 2008.

Para el análisis de las variables abundancia y biomasa de lombrices, se efectuó una prueba de ANOVA empleando los modelos lineales generales y mixtos en ambas variables, considerando que los datos cumplieran con una distribución normal. Para detectar diferencias entre medias se utilizó la prueba de DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves 2011). Mediante estos análisis se obtuvieron dos grupos de medias diferentes para la variable abundancia y cuatro para la variable biomasa de lombrices. Dentro del modelo del análisis se contemplaron los efectos del tratamiento, la época de evaluación, su eventual interacción y las covariables en estudio.

4.3 Resultados y discusión

4.3.1 Abundancia de lombrices en sistemas agroforestales con café convencional y orgánico

El análisis de varianza efectuado para abundancia de lombrices obtenida mediante modelos lineales generales y mixtos, mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$), debido a los efectos fijos dados por el código de tratamiento (tipos de sombra y tipo de insumos) y las covariables temperatura, humedad y materia orgánica. Es decir, que los factores mencionados por si solos no fueron determinantes para la abundancia de lombrices en sistemas agroforestales bajo diferentes condiciones. Los tratamientos con *Chloroleucon* medio convencional, *Erythrina* orgánico intensivo, *Erythrina* medio convencional (E+MC), *Chloroleucon* orgánico intensivo (C+MO), *Erythrina* alto convencional (E+AC), *Terminalia* medio convencional (T+MC), pleno sol medio convencional (PS+MC) y *Terminalia* bajo sistema de manejo alto convencional (T+AC) fueron los tratamientos que tuvieron mayor número de lombrices por metro cuadrado (entre 147 a 211 ind/m²) (Cuadro 7).

No obstante, los tratamientos a pleno sol con alto convencional (PS+AC) y *Terminalia* orgánico intensivo presentaron menor abundancia de lombrices (entre 84,94 y 115 ind/m²) frente a los demás tratamientos en estudio durante el 2012. Similar resultado fue reportado por Aquino *et al.* 2008 quienes en el 2005 encontraron 78 ind/m² en el tratamiento a pleno sol alto convencional en la época lluviosa. Lo anterior se explica posiblemente en el hecho de que el tratamiento PS+AC sea un sistema abierto sin ninguna arbórea. Se podría indicar, entonces, que la sola presencia de una especie arbórea favorecería la dinámica del sistema y, por ende, la abundancia de lombrices debido a que las temperaturas disminuirían y se propiciaría un hábitat adecuado para las mismas (Lavelle 2001; Delgado *et al.* 2011).

No obstante, en el 2012 el tratamiento a pleno sol medio convencional (PS+MC) reportó una media de 188,49 ind/m², diferente a lo reportado por Aquino *et al.* (2008), que encontró 115,20 ind/m² y que lo marco como el segundo tratamiento que menor abundancia de lombrices obtuvo al igual que el pleno sol alto convencional (PS+AC) durante el periodo 2005. Asimismo, los tratamientos E+AC, T+MC, y PS+MC que mostraron mayor abundancia de lombrices por metro cuadrado en el año 2012 (entre 172 a 188 ind/m²) bajo niveles de manejo convencional, es decir AC y MC fueron superiores comparativamente a los tratamientos de C+MC, E+MO, E+MC, y C+MO, que alcanzaron un promedio (entre 147 a 165 ind/m²). Estos resultados fueron muy similares a los encontrados por Aquino *et al.* 2008 con *Erythrina* orgánico intensivo (156 ind/m²) solo que este tratamiento ocupó niveles intermedios en el estudio de estos autores. Según los resultados indicados, sugieren que la abundancia de lombrices en el tiempo permaneció constante, a pesar del manejo constante del café y las especies arbóreas presentes.

El estudio conducido por Aquino *et al.* durante el 2005 indicó que los tratamientos T+MO y C+MO reportaron mayor abundancia de lombrices; el tratamiento *Terminalia* orgánico intensivo alcanzó una media de 402 ind/m². Este resultado, comparado con el obtenido por el presente estudio (115 ind/m²) es muy diferente. Esto sugiere que en el periodo de siete años que separa ambos estudios, la disminución en la cantidad de lombrices podría deberse al manejo y aporte de hojarasca de la especie en asocio de este tratamiento. Según observaciones realizadas al momento del establecimiento y consolidación de los tratamientos con manejo orgánico, la cantidad de materia orgánica (hojarasca) sobre el suelo también era poca, lo cual también podría ser una causa de la baja abundancia de lombrices actualmente. En los tratamientos E+MO las densidades de lombrices fueron muy similares en los dos años muestreados (aproximadamente 150 ind/m²). Esto se puede deber a que de la especie *Erythrina* aporta constantemente materia orgánica abundante mediante su hojarasca, la cual se acumula y se transforma en alimento seguro para las lombrices. El sistema de manejo alto convencional asociado a *Terminalia* reportó una densidad promedio de 211 ind/m²; este resultado fue diferente al encontrado por Aquino *et al.* (2008) (151,47 ind/m²). Es claro que a pesar de conocerse que los altos niveles de fertilizantes minerales no son amigables con el ambiente y que en muchos casos son enemigos de los organismos que conforman la

macrofauna del suelo (BUN-CA 1999), los resultados de este estudio y los encontrados por Aquino *et al* (2005) parecen indicar que la dinámica poblacional de lombrices tiende a ser favorecido positivamente por el tipo de manejo (alto convencional) y la especie arbórea en asocio (*Terminalia*) que le proporciona niveles óptimos de materia orgánica al sistema. Otros estudios indican que pueden existir una mayor población de lombrices en sistemas orgánicos al igual que lo reportado por Aquino *et al.* (2008), los cuales varían con el manejo dado al cultivo (Scullion *et al.* 2002).

El nivel óptimo de sombra que la especie *Terminalia* brinda es una función importante para la generación de un microclima adecuado para las lombrices bajo sistemas convencionales. El tipo de hoja de las especies que son simples, verticiladas y perennifolias hacen posible una proyección de copa no muy densa y algo tupida. De esta manera, la luz directa que llega al sistema no estaría afectando el hábitat de las lombrices. El uso de esta especie en sistemas agroforestales con manejo convencional ha sido empleada de manera informal, aunque se ha utilizado en combinación con otras especies fijadoras de nitrógeno en plantaciones de café y en frutales, donde su crecimiento y estado sanitario ha mostrado un buen comportamiento (CATIE 1999). Los tratamientos medio convencional y orgánico intensivo asociados con *Chloroleucon* mostraron una media de 147 y 165 ind/m² respectivamente para el año 2012; este resultado fue diferente al reportado por Aquino *et al.* (2008), quienes obtuvieron medias entre 161 a 305 ind/m². Sin lugar a duda, los resultados obtenidos en el año 2012 no fueron tan favorables en cuanto a la dinámica poblacional de las lombrices; esto podría ser debido a las características de la especie en asocio (*Chloroleucon*) que presenta raíces con propiedades insecticidas que podrían restringir su adaptación y continua reproducción (CATIE 1999).

En el año 2012, el tratamiento *Terminalia* orgánico intensivo reportó una media de 115 ind/m², muy inferior a la presentada por Aquino *et al.* 2008 (402 ind/m²) para este mismo tratamiento. La disminución de la población de lombrices pueden deberse al grado de manejo del cultivo que no ha sido favorable para las lombrices. Lo anterior podría indicar que la adopción de prácticas bajo manejo orgánico no siempre crea condiciones óptimas para que exista mayor número de lombrices en estos sistemas (Chan 2001).

Cuadro 7. Medias ajustadas y errores estándares para la abundancia de lombrices (ind/m²) usando modelos lineales generales y mixtos durante la evaluación del 2012

Codigo_tratamiento	Medias	E.E.		
PS + AC	84.94	22.93	A	
T + MO	115.38	28.43	A	
C + MC	147.59	24.61		B
E + MO	154.49	29.58		B
E + MC	159.22	29.25		B
C + MO	165.19	28.68		B
E + AC	172.48	34.44		B
T + MC	179.30	33.44		B
PS + MC	188.49	33.61		B
T + AC	211.86	35.92		B

Letras iguales indican que no hay diferencias significativas (Prueba DGC, $\alpha=0,05$).

Como se observa en el Cuadro 7, los resultados obtenidos por este estudio indican que los sistemas agroforestales con especies fijadoras de nitrógeno como *Erythrina* y *Chloroleucon*, que en asocio al tipo de manejo dado, fueron las que mostraron los mejores resultados en cuanto a la abundancia de lombrices por metro cuadrado. Sin embargo, la especie *T. amazonia*, que se caracteriza por ser una especie maderable y no fijadora de nitrógeno, produce materia orgánica suficiente para mantener una humedad adecuada en el suelo y brinda una gradiente de sombra que provee un microclima óptimo para la presencia de lombrices (abundancia de lombrices por metro cuadrado). El tratamiento de esta especie, asociado al manejo de insumos alto convencional, fue el que presentó el ambiente más adecuado para las lombrices frente a los demás tratamientos estudiados (Cuadro 7). No obstante, los resultados reportados por Aquino *et al.* 2008 con tratamiento T+AC indicaron valores intermedios en abundancia de lombrices por metro cuadrado, lo cual indica que no ha habido un aumento exagerado de la población de lombrices en este tratamiento, sino que la tendencia en el aumento se mantuvo con el tiempo bajo el asocio de esta especie y nivel de insumo. Estos resultados pueden deberse también principalmente a que las lombrices se familiarizaron más con las condiciones de sitio de generadas por la especie en asocio de este tratamiento y no necesariamente por el manejo orgánico dado como en el caso de Aquino *et al.* (2008).

Montenegro (2005) reportó que el comportamiento de *Terminalia* en sistemas agroforestales con manejo alto convencional aportó una producción de biomasa del 300%, superior a los tratamientos de esta especie con niveles de insumos medio convencional y orgánico intensivo. El aporte de biomasa transformada como alimento directo para las lombrices es un factor importante para la abundancia de lombrices obtenida en este estudio. Los resultados obtenidos también permiten inferir que el aporte de biomasa de esta especie es independiente del tipo y suministro de insumos al sistema, inclusive cuando se trata de insumos convencionales que tradicionalmente se sabe que no les son favorables. Los tratamientos (PS+MC; T+MC; E+AC; C+MO; E+MC; E+MO; y C+MC) también mostraron niveles significativos mayores ($p \leq 0,05$) de abundancia por metro cuadrado (entre 147,59 ind/m² y 188,49 ind/m²) en comparación con los tratamientos (PS+ AC; y T+MO) que alcanzaron medias de abundancia por metro cuadrado entre 84,94 ind/m² y 115,38 ind/m², los cuales representan los niveles más bajos de abundancia frente al resto de los tratamientos evaluados.

Las pruebas de hipótesis indicaron que el código de tratamiento mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,0001$), al igual que las covariables humedad ($p = 0,0001$) y temperatura del suelo ($p = 0,0041$). Sin embargo, para efectos de este análisis no se encontraron diferencias significativas con la covariable materia orgánica (0,0640) como se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Modelo lineal general y mixto. Tabla de análisis de varianza mostrando las pruebas de hipótesis marginal

	gl	CM	F	Valor p
(Intercept)	1	457	4,82	0,0286
Código de tratamiento	22	43	5,70	<0,0041
Temperatura del suelo °C	1	457	8,31	0,0041
Humedad	1	457	61,78	<0,0001
Materia orgánica	1	457	3,45	0,0640

Sin embargo, los resultados obtenidos de este análisis indican que los tratamientos que mostraron diferencias entre las medias que formaron dos grupos: el primero correspondiente a ocho tratamientos con mayores valores de abundancia de lombrices y dos con valores menores.

La comparación entre esos dos grupos muestra que el tratamiento a pleno sol con manejo alto convencional, al igual que en el estudio de Aquino *et al.* 2008, muestra valores menores de abundancia; en el tratamiento a pleno sol medio convencional, por su parte, mostró los valores más bajos de acuerdo al tipo de sistema y manejo de los insumos convencionales. Durante la evaluación realizada en el 2012, la tendencia de los tratamientos

indicaba mayor abundancia de lombrices en el sistema a pleno sol medio convencional. Otro tratamiento más bajo en abundancia de lombrices para el 2012 fue *Terminalia* con manejo orgánico intensivo que durante el periodo 2005 fue el tratamiento que obtuvo mayor número de lombrices (402 ind/m²). En ese sentido, los resultados de abundancia entre todos los tratamientos indicaron diferencias en los tratamientos bajo las tres especies estudiadas (*Chloroleucon*, *Erythrina*, *Terminalia*) además del sistema a pleno sol que particularmente tuvieron insumos convencionales.

4.3.2 Biomasa de lombrices en sistemas agroforestales con café convencional y orgánico

Para el caso de la variable biomasa de lombrices, medida en gramos/cm², los datos recolectados fueron ajustados a modelos lineales generales y mixtos. Las medias ajustadas del modelo lineal general mixto muestran que existen influencias significativas de los diez tratamientos evaluados. Por otro lado, aunque Aquino *et al.* 2008 hayan encontrado dos grupos de tratamientos significativos 5 años después de instalado el ensayo, este hecho no necesariamente se da 12 años después de la instalación del mismo. Como se observa en el Cuadro 9, los tratamientos que mostraron los menores valores de biomasa de lombrices fueron PS+AC; T+MO, lo cual coincide con la abundancia de lombrices reportada en el 2012. Sin embargo, los mayores valores de biomasa se dan en los tratamientos con C+MC y MO, E+MC, PS+MC, E+AC, T+MC, E+MO, T+AC (entre 51,58 g/m² y 85,97 g/m² respectivamente). No obstante, Aquino *et ál* (2008) reportaron los valores máximos de biomasa de lombrices para los tratamientos E+MC; E+MO, C+MO y T+MO donde, comparativamente con los datos del periodo 2012, se observa que solo el tratamiento de *Erythrina* orgánico intensivo mantuvo similares resultados entre los mayores valores de biomasa de lombrices con 85,31 g/m² 7 años después.

El tratamiento *Terminalia* con manejo orgánico intensivo solo obtuvo una biomasa de 49,61 g/m². Esta cantidad de biomasa es mucho menor que la reportada por Aquino *et al.* (2008) (93,48 g/m²). El tratamiento *Erythrina* con manejo orgánico intensivo obtuvo una biomasa de lombrices de 85,31 g/m², un poco mayor a la obtenida en 2005 por Aquino *et al.* (2008). Los tratamientos con esta misma especie bajo los niveles de manejo convencionales de E+AC (76,36 g/m²) y E+MC (72,13 g/m²), fueron menores en biomasa de lombrices comparados con los niveles orgánico. Por otra parte, los tratamientos con C+MO (69 g/m²) y C+MC (51,58 g/m²) fueron menores a los tratamientos mencionados anteriormente. Los tratamientos a pleno sol con el nivel medio convencional reportó una biomasa de 73,14 g/m², resultado mayor al del tratamiento a pleno sol con nivel alto convencional (24,77 g/m²) siendo este el valor más bajo obtenido.

Cuadro 9. Medias ajustadas y errores estándares para la biomasa de lombrices (ind/m²) usando modelos lineales generales y mixtos durante la evaluación del 2012

Código_tratamiento	Medias	E.E.		
PS + AC	24,77	10,39	A	
T + MO	49,61	12,45		B
C + MC	51,58	11,06		B
C + MO	69,00	12,83		C
E + MC	72,13	11,89		C
PS + MC	73,14	13,69		C
E + AC	76,34	15,51		C
T + MC	78,46	13,89		D
E + MO	85,31	11,88		D
T + AC	85,97	11,83		D

Letras iguales indican que no hay diferencias significativas (Prueba DGC, $\alpha=0,05$)

Según Aquino *et al* (2008), los tratamientos a pleno sol con niveles de insumos alto convencional demostraron ser menores en biomasa de lombrices, lo cual se mantuvo durante la evaluación realizada por este estudio en el 2012, donde se obtuvo una media no mayor que la de Aquino *et al* (24 g/m² de biomasa de lombrices). Esto significa que hubo reducción sobre este valor 7 años después de la evaluación de Aquino *et al* el sistema a pleno sol con el nivel de manejo alto convencional por lo estaría cambiando la biomasa de lombrices en el sistema. Para el caso del tratamiento a pleno medio convencional Aquino y colaboradores reportaron una media de 31 g/m². No obstante, en el 2012 se reportó una media de 73 g/m² la cual corresponde a los valores intermedios en biomasa de lombrices durante el estudio. Esto quiere decir que el manejo medio convencional tiene una influenciando sobre el peso de lombrices bajo el sistema a pleno sol que agregado a su abundancia pudo ocupar uno de los valores más altos en el estudio.

El tratamiento de *Erythrina* alto convencional muestra un aumento de la biomasa de lombrices durante la evaluación realizada en el 2012 de 76 g/m² comparado con el reportado por Aquino *et al.* (2008). Según este resultado se podría inferir que la influencia del tratamiento ha sido positivo durante el tiempo. Por otra parte, el tratamiento *Erythrina* con manejo orgánico intensivo reportó medias muy similares a través del tiempo, por lo que se podría decir que este tratamiento no estaría siendo negativamente influenciado por el sistema. El tratamiento *Terminalia* con manejo alto convencional durante la evaluación del 2012 reporto valores mayores que durante la evaluación llevada a cabo siete años atrás.

Al comparar la abundancia de lombrices obtenida durante la evaluación realizada por Aquino *et al.* 2008 en relación con la evaluación realizada por este estudio en el 2012, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$). El estudio de Aquino *et al.* (2008) reportó la

mayor abundancia para los tratamientos *Terminalia* y *Chloroleucon* con insumos orgánicos (Figura 2). Para la evaluación del 2012, los tratamientos con *Terminalia* orgánico intensivo se ubicaron dentro de los dos tratamientos más bajos en abundancia de lombrices por metro cuadrado, y los tratamientos con *Chloroleucon* orgánico intensivo estuvo dentro de los valores más altos con 165 ind/m². Lo anterior significa que no hubo una influencia tanto de la especie como del manejo de insumos sobre la biomasa de lombrices, por lo que no se estarían dando valores más altos a los reportados por Aquino *et al.* 2008. Sin embargo, los resultados indican que aún sobre los tratamientos con *Chloroleucon* orgánico intensivo hay todavía presencia de las lombrices.

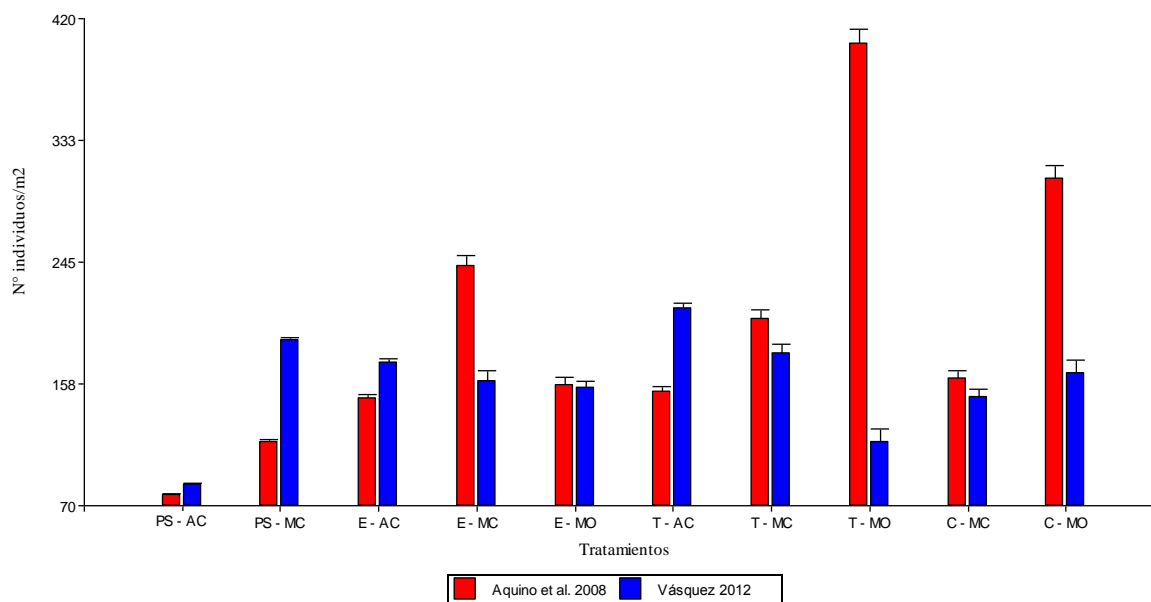


Figura 2. Resultados sobre abundancia de lombrices en sistemas agroforestales con café según los resultados de Aquino *et al.* (2008) y los reportados por este estudio. Finca comercial CATIE, Turrialba, Costa Rica

Los tratamientos *Terminalia* con manejo medio convencional reportó valores mayores en la evaluación de Aquino *et al.* 2008; durante la evaluación de 2012 solo reportaron hasta 179 ind/m², esto explicaría que hubo una leve reducción de la presencia de lombrices bajo este sistema. Mientras que finalmente los tratamientos *Chloroleucon* con manejo medio convencional en la evaluación de Aquino *et al.* 2008 fue mayor que la evaluación realizada en el 2012, por lo que se podría indicar que hubo una leve influencia del sistema sobre la abundancia de lombrices bajo este tratamiento.

En la Figura 3 se observa que al comparar la biomasa de lombrices en los diferentes sistemas agroforestales, los tratamientos con *Terminalia* y *Chloroleucon* orgánico intensivo fueron superiores en la evaluación realizada por Aquino *et al.* 2008 a las evaluaciones realizadas en el 2012, lo cual quiere decir que hubo una disminución de la presencia de las lombrices en esos sistemas a través de tiempo (7 años después de la primera evaluación).

Lo anterior también se puede apreciar en los tratamientos *Erythrina* con manejo medio convencional durante la evaluación realizada por Aquino *et al* 2008 que fue superior a la evaluación realizada por el presente estudio. Los tratamientos bajo manejo a pleno sol alto convencional a pesar de ser reportados como los que mostraron una abundancia menor tanto en la evaluación de Aquino *et al* (2008) y la realizada en este estudio (2012), indican una mayor presencia de lombrices siete años atrás.

El tratamiento a pleno sol con manejo medio convencional mostró una mayor biomasa de lombrices comparada con la reportada por Aquino *et al.* (2008). Lo anterior indica que hubo influencia de este tratamiento sobre la biomasa de lombrices después de siete años. Esta misma tendencia se pudo apreciar para los tratamientos con *Erythrina* con manejo orgánico intensivo, *Terminalia* con manejo alto convencional y *Terminalia* con manejo medio convencional según los resultados obtenidos de este estudio, por lo que también se puede decir que hubo una influencia de estos tratamientos sobre la biomasa de lombrices. Por último, el tratamiento *Chloroleucon* con manejo medio convencional no mostró la misma tendencia pues durante el 2012 hubo menor biomasa de lombrices que en el 2005. Según estos resultados bajo este tratamiento la biomasa se vio afectada levemente.

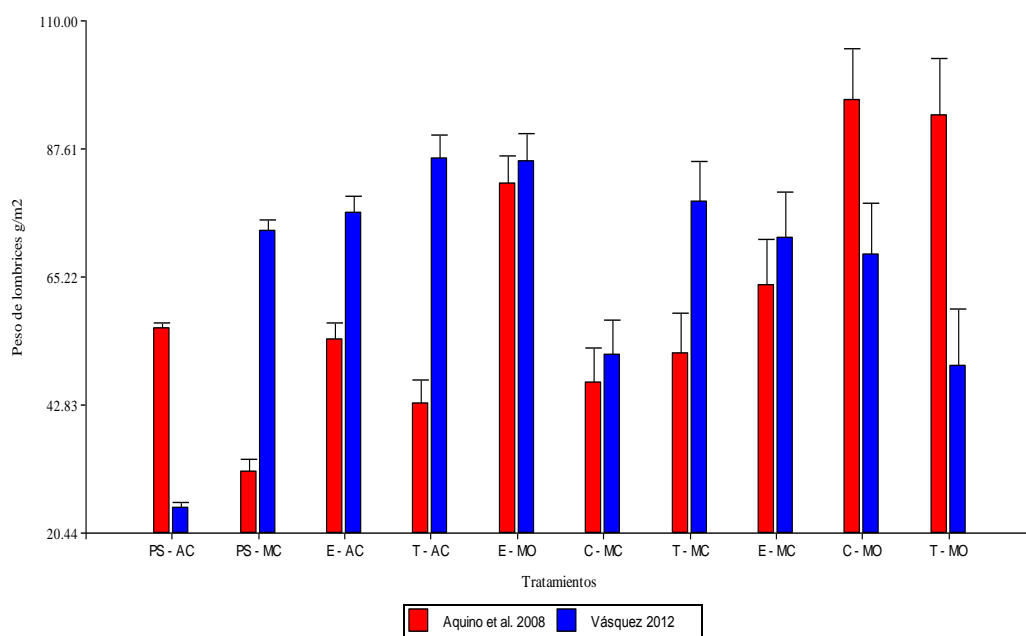


Figura 3. Resultados de biomasa de lombrices en sistemas agroforestales con café según los resultados de Aquino *et al* (2008) y los reportados por este estudio. Finca comercial CATIE, Turrialba, Costa Rica

Los resultados de las pruebas de hipótesis indicaron que el código de tratamiento mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,0001$), al igual que las covariable humedad ($p = 0,0001$). Sin embargo, para efectos de este análisis no se encontraron

diferencias significativas entre las covariables materia orgánica ($p = 0,2372$), temperatura del suelo ($p = 0,2371$) como se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Modelo lineal general y mixto. Tabla de Análisis de Varianza mostrando las pruebas de hipótesis marginal

	gl	CM	F	Valor p
(Intercept)	1	457	0,03	0,8596
Código de tratamiento	22	43	4,29	<0,0001
Temperatura del suelo °C	1	457	1,40	0,2372
Humedad	1	457	1,40	0,2371
Materia orgánica	1	457	37,85	0,0001

Los resultados obtenidos demostraron la importancia de las especies arbóreas y el manejo intensivo de insumos sobre la abundancia y la biomasa de lombrices en sistemas agroforestales con café, ya que ellos crean un microclima diferenciado sobre estos agroecosistemas. El microclima es importante no sólo para el cultivos sino también para los organismos del suelo ya que generan temperaturas inferiores y humedad más altas que favorecen en parte el ciclo de nutrientes y propiedades del suelo y por ende a los organismos macroinvertebrados como las lombrices (Martius *et al.* 2004). Estos organismos constituyen gran parte de la biomasa animal de los suelos de muchos ecosistemas, tanto en zonas tropicales como templadas (Domínguez *et al.* 2009). La relación entre el peso y el número de lombrices fue de 0,90 a 1,00 g ind/m² para el periodo 2012, lo cual indica que ambas varían de acuerdo a los tratamientos y que poseen una alta correlación entre ellas. Por el contrario, los resultados de Aquino *et al.* 2008 para el año 2005 indican una relación entre estas dos variables de 0,23 a 0,70 g ind/m² lo cual quiere decir que hubo una variación ya que las lombrices no estarían en competencia por agua y nutrientes principalmente. Según Aquino *et al.* 2008 sus resultados fueron mayores a los reportados por Hairiah *et al.* (2006).

Según Chan (2001) y Aquino *et al.* (2008), las prácticas de conservación no se adaptan automáticamente a las condiciones óptimas de las poblaciones de las lombrices de tierra, en términos de abundancia y/o densidad. Por lo anterior, muchas especies de lombrices exóticas son capaces de afectar significativamente las propiedades del suelo, la dinámica de nutrientes, y otros organismos de la comunidad del suelo además de la planta misma (Hendrix *et al.* 2006; Aquino *et al.* 2008). Por otro lado, la abundancia y biomasa de lombrices en los SAF obtenidos durante el periodo 2005, revelaron importantes resultados en cuanto al tipo de sombra y tipo de manejo de insumos, ya que se encontraron mayores densidades y peso de lombrices con la especie *Chloroleucon* y *Terminalia* bajo el manejo orgánico. Sin embargo, esta misma tendencia dinámica no fue posible evidenciarlo en los resultados comparados en el presente trabajo. Es importante mencionar que al comienzo del análisis, los datos obtenidos en el 2012 para las variables abundancia y biomasa de lombrices demostraron tener una distribución normal según la naturaleza de los datos (Figuras 4 y 5). Sin embargo, para el caso

de homogeneidad de varianzas (Figuras 6 y 7), los datos inicialmente mostraron un leve problema de homogeneidad de varianzas, por lo que se realizó un ajuste a los modelos para corregir el problema de heterogeneidad. Se probaron cuatro modelos lineales generales y mixtos para finalmente seleccionar el mejor modelo ajustado a las variables de respuesta, tomando en cuenta los criterios de información de Akaike (AIC) y de información Bayesiana (BIC).

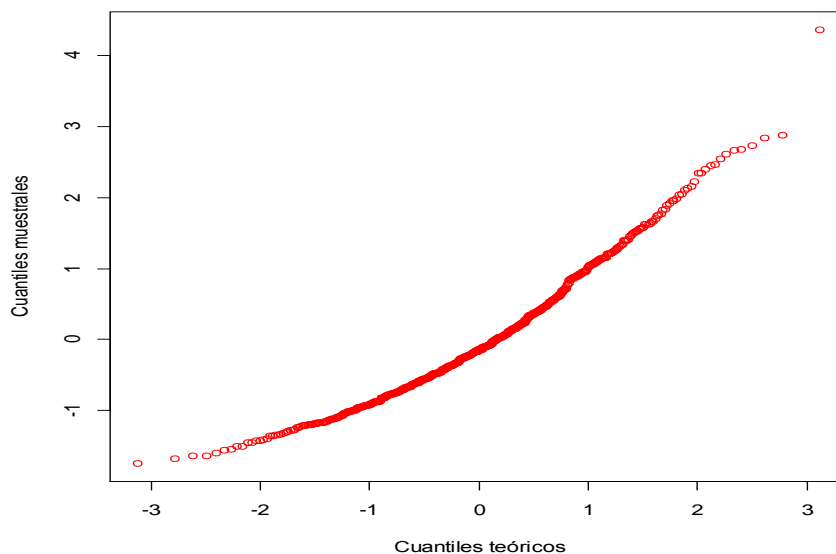


Figura 4. Prueba de normalidad de abundancia

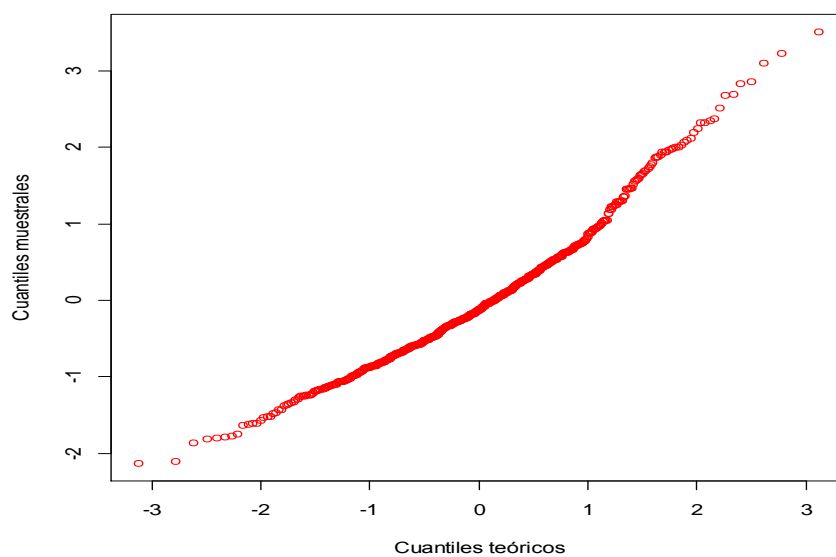


Figura 5. Prueba de normalidad de biomasa

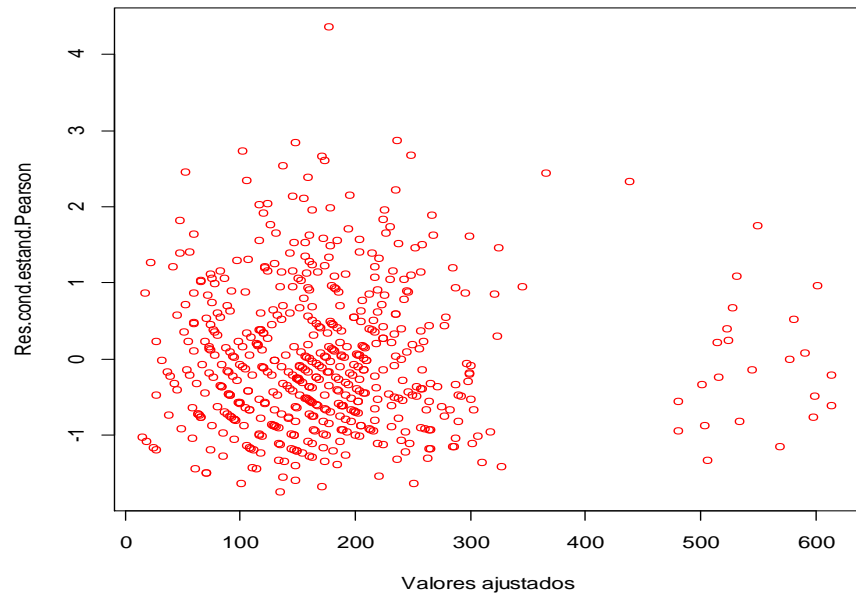


Figura 6. Prueba de homogeneidad de varianzas en abundancia

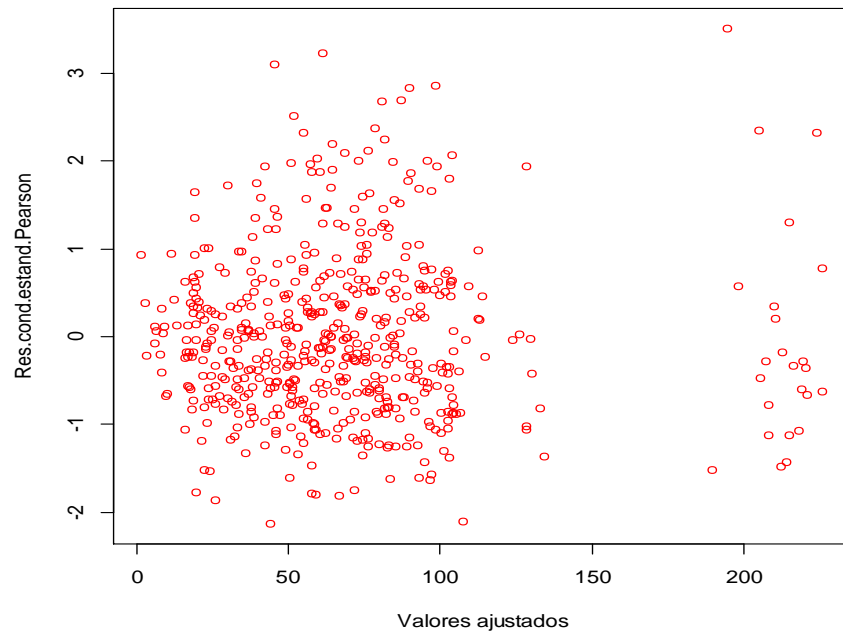


Figura 7. Prueba de homogeneidad de varianzas en biomasa

La aproximación de los modelos lineales generales y mixtos mostró ser más flexible para ajustar el modelo a los datos. La gran ventaja que mostraron estos modelos lineales es que pudieron corregir la falta de homogeneidad de las varianzas, usando principalmente las funciones de heterocedasticidad durante el ajuste de los modelos sin necesidad de transformar los datos como ocurrió en la metodología de Aquino *et al.* (2008) donde se tuvieron que transformar los datos para el cumplimiento de los supuestos del análisis de varianza.

Para el primer modelo, la estimación a una máxima verosimilitud de los datos obtenidos permitió que el modelo seleccionado (AIC: 6175; BIC: 6533) para la variable abundancia indicara como efectos fijos la época, código de tratamiento, la interacción de época^xcódigo_tratamiento y las covariables temperatura_suelo_°C, humedad, sombra, M_O. Los efectos aleatorios se relacionaron con el bloque y el código del tratamiento. Posteriormente se indicó como función de correlación de los errores a errores independientes en el modelo. En la función heterocedasticidad se indicó para la variable abundancia una potencia de varianza (VarPower) sin necesidad de utilizar un criterio de agrupación; el simplemente hecho de utilizar esta función permitió corregir los problemas de homogeneidad de varianzas encontradas en los datos.

Para el segundo modelo que fue seleccionado para la variable biomasa (AIC: 5308; BIC:5633), se dio la misma estructura del modelo seleccionado para la variable abundancia. En este caso también se indicaron como efectos fijos la época, código_tratamiento, interacción época^xcódigo_tratamiento y las covariables materia orgánica, temp_suelo_°C, humedad, sombra; como efectos aleatorios se consideró también el bloque y el código del tratamiento, además de considerar la función de correlación de los errores a errores independientes en el modelo. Sin embargo, la diferencia con respecto a la estructura, en este modelo la función heterocedasticidad que consideró el problema de homogeneidad de varianzas primero se consideró varianzas distintas (VarIdent) y en criterios de agrupamiento al código de tratamiento, así como también una VarConstPower para la covariable de la función de varianza a humedad. Para la comparación de medias, el modelo seleccionado fue el mismo que el de la abundancia; la prueba DGC a un nivel de significancia del 0,05% determinó la época, el código de tratamiento y la interacción se consideraron para obtener diferentes agrupaciones.

Las covariables temperatura y humedad del suelo en los diferentes tratamientos durante el periodo lluvioso alcanzaron valores entre 21,7 a 23,3 °C (Figura 8). Estas temperaturas se consideran propicias para que la reproducción de lombrices en los diferentes sistemas agroforestales pueda ser factible ya que se encuentran dentro del rango óptimo de temperaturas (18 a 25°C), para que estos organismos se adapten a cualquier tipo de sistema (Ibáñez 2010). La humedad en los diferentes tratamientos osciló entre 36 a 55% a pesar de que el periodo donde se llevó a cabo el estudio correspondió a la época lluviosa (Figura 9). Las lombrices requieren condiciones ambientales de humedad de 70 a 80%. Condiciones

ambientales menores hacen difícil la reproducción de estos organismos en sistemas de producción bajo cualquier tipo de cultivo y sobre otros factores ambientales que afectan o influyen su hábitat. Estas dos covariables, entonces, tienen una cierta influencia sobre la abundancia y biomasa de lombrices en los diferentes sistemas agroforestales de café manejado bajo condiciones de sombra y niveles de insumos.

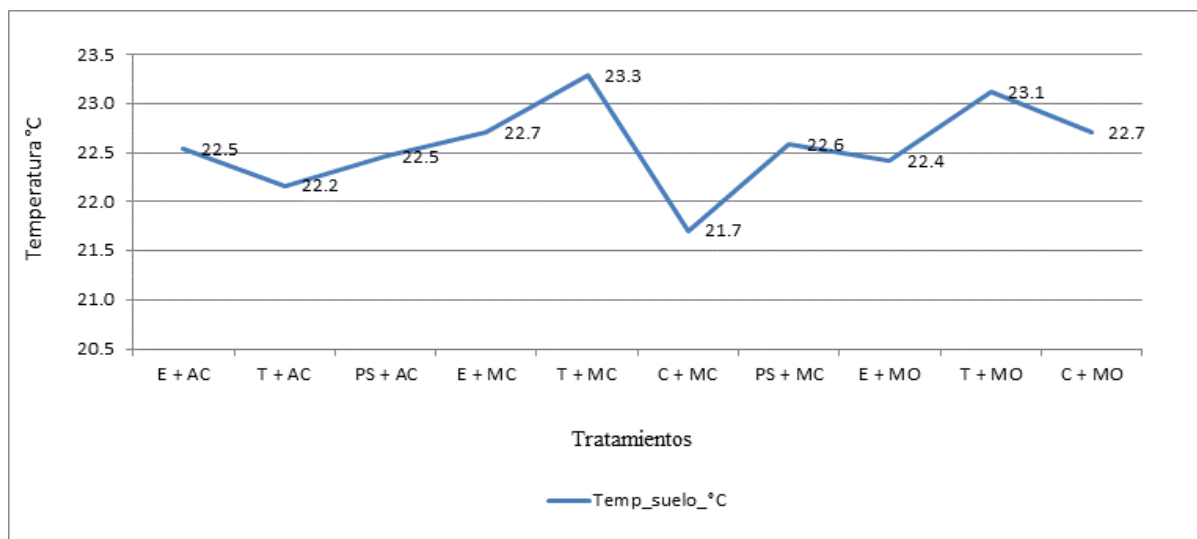


Figura 8. Temperatura del suelo de los diferentes sistemas agroforestales con café durante el periodo lluvioso del 2012. Finca comercial CATIE, Turrialba, Costa Rica

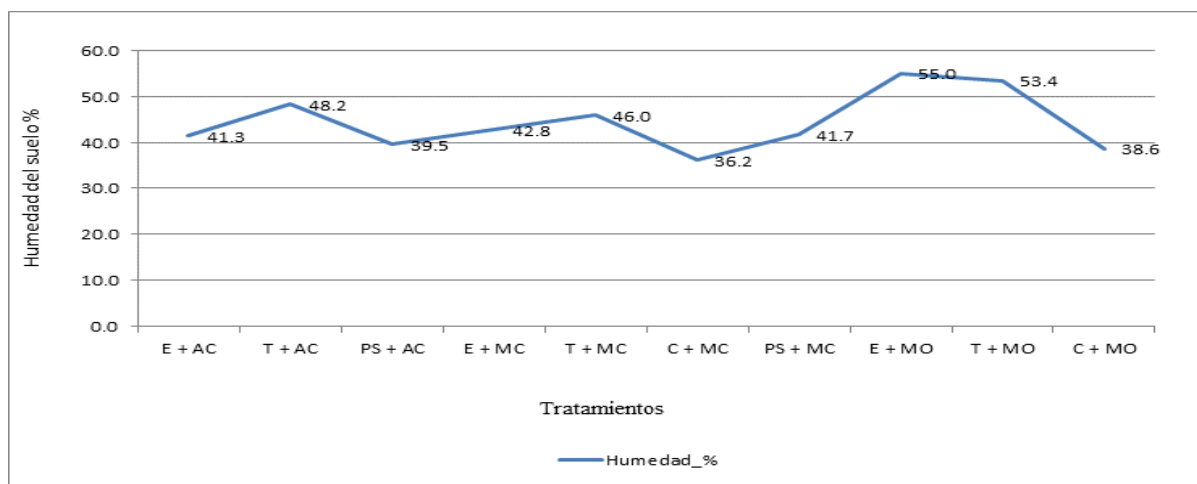


Figura 9. Resultados en humedad del suelo de los diferentes sistemas agroforestales con café durante el periodo lluvioso del 2012. Finca comercial CATIE, Turrialba, Costa Rica

El tratamiento C+MC se diferenci6 por presentar una de las temperaturas m6s bajas (21,7° C); mientras que los tratamientos E+AC, T+AC, PS+AC, E+MC, PS+MC, E+MO, C+MO, C+MC presentaron temperaturas entre los 21,7 a 22,7°C, y correspondieron a los tratamientos intermedios. Los tratamientos con T+MC, T+MO sus temperaturas fueron exactamente altas entre 23.1 a 23.3 °C. Los tratamientos con E+AC, E+MC, E+MO presentaron temperaturas entre 22,4 a 22,7° C. Los sistemas a pleno sol convencionales (AC y MC) a pesar de ser sistemas abiertos presentaron una temperatura que oscil6 entre 22,5 y 22,6 °C.

Los valores de humedad m6s bajos se dieron en los tratamiento C+MC, C+MO, PS+AC (36,2 a 39,5%); Los tratamientos con humedades intermedias corresponden a E+AC, T+AC, E+MC, T+MC, PS+MC (41,3 a 48,2%). Finalmente, los tratamientos con mayores valores de humedad fueron E+MO y T+MO con 53,4 y 55,0%. Sin embargo, los tratamientos en menci6n no alcanzaron valores de 80% de humedad que corresponden a una condici6n 6ptima para la reproducci6n de lombrices. Los tratamientos C+MC y C+MO mostraron humedades entre los 36,2 a 38,6 % y los tratamientos E+AC, E+MC, E+MO obtuvieron valores de humedad entre 41,3 a 55%. Este 6ltimo tratamiento report6 el valor m6s alto de humedad durante la evaluaci6n; mientras que los tratamientos T+AC, T+MC, T+MO presentaron valores entre 48,2 y 53,4. Los tratamientos PS+AC y PS+MC obtuvieron humedades entre los 39,5 y 41,7%. En cuanto a la materia org6nica, la evaluaci6n a esta covariable se enmarc6 a la presencia o no de materia org6nica en los tratamientos evaluados, donde se determin6 finalmente una mayor presencia de materia org6nica en los tratamientos convencionales.

4.4 Conclusiones

1. De acuerdo al estudio llevado a cabo por Aquino *et al* en el 2005 y publicado en el 2008 y los resultados de este estudio, el sistema agroforestal de caf6 a pleno sol con manejo alto convencional, present6 los valores m6s bajos y similares entre s6, tanto de abundancia como de biomasa de lombrices. El manejo moderado convencional a pleno sol, que en el 2005 present6 los valores m6s bajos (con 115 ind/m²) y sin diferencias significativas con el alto convencional a pleno sol, present6 el segundo la abundancia de lombrices m6s alta (188,49 ind/m²) en el monitoreo del 2012. Los datos del estudio permiten inferir que la pr6ctica de mantener la cobertura de hierbas al centro de la calle de los cafetos en los ensayos de manejo moderado convencional podr6a est6 favoreciendo la din6mica de lombrices a lo largo del tiempo aun con el cafetal a plena exposici6n solar.
2. El SAF con sombra de *Terminalia* y manejo org6nico intensivo (MO), present6 una abundancia de 115 ind/m² en la evaluaci6n del 2012, presentando, conjuntamente con el sistema a pleno sol con manejo alto convencional, una de las abundancias m6s bajas. En el monitoreo de 2005 (Aquino et al, 2008) encontr6 que *Terminalia* (MO) tuvo el valor m6s alto entre todos los tratamientos con 402 ind/ m².

3. En el sistema *Terminalia* con manejo alto convencional (AC) se dio un incremento moderadamente considerable en la abundancia de lombrices en las dos evaluaciones llevadas a cabo. En el 2005 se encontró 151,47 ind/m² (Aquino et al, 2008) y en el 2012 211,86 ind/m². El SAF *Terminalia* con manejo moderado convencional (MC) tuvo en el 2005 una abundancia de 203,73 ind/m² (Aquino et al, 2008), mientras que en el 2012 se encontraron en promedio 179,3 ind/m².
4. Para el SAF con sombra de *Erythrina* con manejo alto convencional (AC) la abundancia de lombrices en el 2005 fue de 147,2 ind/m² (Aquino et al, 2008), mientras que en el 2012 presentó un incremento moderado alcanzando 172,48 ind/m². En el SAF *Erythrina* con manejo orgánico intensivo prácticamente no hubo variación en la abundancia de lombrices entre ambas mediciones. En el 2005 la abundancia promedio fue de 156,8 ind/m² (Aquino et al, 2008), y en el 2012 de 154,49 ind/m². El sistema *Erythrina* con manejo moderado convencional experimentó una afectación importante en cuanto a la dinámica de lombrices durante el periodo de evaluación, ya que en el 2005 presentó una abundancia de 242,13 ind/m² (Aquino et al, 2008) y para el 2012 de 159,22 ind/m².
5. Para el sistema *Chloroleucon* y manejo moderado convencional presentó una leve disminución en la abundancia de lombrices cuando en el 2005 se encontraron 161,07 ind/m² (Aquino et al, 2008), y siete años después 147,59 ind/m². En el SAF *Chloroleucon* con manejo orgánico intensivo presentó una disminución drástica de la abundancia durante el periodo estudiado pasando de 305,07 ind/m² en el 2005 (Aquino et al, 2008) a 165,19 ind/m² en el 2012.
6. Los resultados nos indica que en los primeros cinco años del estudio de largo plazo de Aquino et al (2008), el manejo orgánico intensivo con sombra de árboles maderables de *Terminalia* y *Chloroleucon*, presentaron las abundancias más altas entre todos los tratamientos. Sin embargo, siete años después disminuyó fuertemente la cantidad de lombrices por metro cuadrado, en especial con *Terminalia* que pasó a estar entre los valores más bajos. A su vez el manejo orgánico intensivo con sombra de árboles de *Erythrina* se mantuvo estable y con una buena abundancia de lombrices en el suelo.
7. El manejo agronómico alto convencional tanto con *Erythrina* como con *Terminalia*, experimentaron con el tiempo incrementos importantes en la abundancia de lombrices, alcanzando los valores más altos de todos los tratamientos. Sin embargo, el manejo agronómico con altos insumos y en condición de plena exposición solar presentó la abundancia de lombrices más baja. Lo anterior confirma que en las condiciones de manejo intensivo, la presencia de los árboles son determinantes para incrementar la abundancia de macrofauna del suelo, en especial las lombrices.
8. El manejo moderado convencional con sombra de maderables de *Terminalia* y *Chloroleucon*, mostró una tendencia en el tiempo de una leve reducción en la abundancia

de lombrices. El manejo con sombra de *Erythrina* también mostró una tendencia a disminuir; sin embargo, con una afectación mayor. Para el 2012, el manejo moderado convencional de pleno sol presentó el segundo valor más alto de abundancia de lombrices de todos los tratamientos, aunque estadísticamente similar a los SAF con el mismo manejo. Comparando la evolución en el tiempo en el manejo MC, la presencia de árboles no fue determinante para garantizar un incremento de la abundancia de lombrices como con el manejo AC.

9. En lo referente a la biomasa de lombrices, en los primeros cinco años del estudio (Aquino *et al.* 2008) el manejo orgánico intensivo (MO), tanto para maderables como para árboles de servicio, juntamente con el manejo *Erythrina* MC presentaron de manera significativa los valores más altos en términos de peso. En el 2012 los valores de biomasa presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, pero la comparación en el tiempo demuestra que el ensayo MO de *Terminalia* presentó una fuerte reducción de biomasa de lombrices y *Chloroleucon* una leve reducción. Por su parte, el MO de *Erythrina* se mantuvo estable y más bien presentón un leve incremento en el peso promedio de las lombrices.

4.5 Recomendaciones

1. Se recomienda continuar con los estudios comparativos de la dinámica de lombrices en el tiempo para profundizar en las implicaciones de las condiciones del manejo orgánico y convencional bajo los diferentes tipos de sombra. En especial los árboles maderables de libre crecimiento (*Terminalia* y *Chloroleucon*) inician la fase de más alto desarrollo y conjuntamente con las estrategias de manejo agronómico del café podrá seguir influyendo en la dinámica de las lombrices.
2. Se recomienda realizar estudios que se propongan explicar con más precisión los factores por los cuales los sistemas con maderables y manejo orgánico intensivo han experimentado una fuerte reducción de la abundancia y biomasa de lombrices, mientras que los SAF con *Erythrina* en el mismo manejo se mantuvo estable. De la misma forma que se identifiquen las causas que llevan el manejo alto convencional, especialmente con *Terminalia*, a presentar importantes incrementos en abundancia de lombrices.
3. Desde la perspectiva de incremento de la abundancia de macrofauna del suelo (lombrices) se recomienda, en condiciones similares al sitio del estudio, que cafetales a pleno sol efectivamente incorporen el asocio con árboles (*Terminalia* y *Erythrina*); en especial si el manejo conlleva altos insumos. Igualmente importante es incorporar las prácticas de manejo selectivo de hierbas que permitan mantener cobertura del suelo entre filas de café. Para los productores con manejos orgánicos intensivos se recomienda la presencia de árboles de servicio (*Erythrina*) en la composición de la sombra de los cafetales. Los sistemas con manejo moderado convencional (con más bajo costo de manejo) pueden

tener buenos niveles de abundancia de lombrices en cafetales asociados con árboles maderables (*Terminalia* y *Chloroleucon*) y de servicio (*Erythrina*).

4. Es importante indicar que para estudios futuros se tome de la decisión de emplear el método de comparaciones de medias DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves, 2012) por la robustez de la prueba.

4.6 Literatura citada

- Aquino, A; De Melo E; Do Santo M; Casanoves F. 2008. Poblaciones de gusanos en sistemas agroforestales con café convencional y orgánico. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1184-1188.
- Aquino, A. 2008. Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. Em: *Biodiversidade do solo en Ecosistemas Brasileiros*. (Eds. Fátima M.S. Moreira, J.O. Siqueira y Lijbert Brussaard). Ed. UFLA. Lavras, Brasil. p. 143.
- BUNCA (Red de Biomasa, Oficina Regional para Centroamérica).1999. Manual práctico para la fabricación de abono orgánico utilizando lombrices. 39 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1999. Abarema idiopoda (Blake) Barneby & Grimes, Turrialba, CR. *Leguminosae* No. 313. 2 p.
- Cabrera, G; Robaina, N; Ponce, D. 2011. Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*, v. ISSN 0864-0394).vol.34 no. 3 .
- Chan, K. 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity: implications for functioning in soils. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 57, 179-191 p.
- Delgado, G; Burbano, A; Silva, A. 2010. Evaluación de la macrofauna del suelo asociada a diferentes sistemas con café *Coffea arabica* L. *Revista de ciencias agrícolas* Año 2011- Volumen XXVIII No. 1 Pags. 91 – 106.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. InfoStat versión 2011 (en línea). AR, Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en <http://www.InfoStat.com.ar>.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. InfoStat versión 2012 (en línea). AR, Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en <http://www.InfoStat.com.ar>.

- Domínguez, J; Aira, M; Brandon-Gomez, M. 2009. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente. Ecosistemas* 18 (2): 20 - 31.
- FAO. 2008. The state of food and agriculture. Agriculture Series No. 38. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Ferreira, D. 2000. Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas. Lavras: UFLA, 66 p.
- Fuentes, A; Chamorro, C; León, T. 1998. Caracterización ecológica de lombrices nativas (*Pheretima* sp. *Eudovoscolex* sp. y *Periscollex* sp.) bajo diferentes usos del suelo (Guaviare, Colombia). *Agronomía Colombiana*, 1998 Volumen XV No. 2, 3. 194 - 203 p.
- Fragoso, C; Lavelle, P; Blanchart, E; Senapati, BK; Jiménez, J; Martinez, MA; Decaëns, T; Tondoh, J. 1999. Earthworm communities of tropical agroecosystems: origin, structure and influence of management practices. En: Lavelle P; Brussaard L; Hendrix P, eds. *Earthworm management in tropical agroecosystems*. CAB International, Wallingford, Reino Unido. 27 - 55 p.
- Haimi, J; Huhta, V. 1991. Effect of *Lumbricus rubellus* on the growth and N content of birch seedlings. Special Publication No.4. International Symposium on Earthworm. *Ecology, Soil Biology and Biochemistry*. 24:1525.
- Handayanto, E; Nuraini, Y; Purnomosidhi, P; Hanegraaf, M; Agterberg, G; Hassink, J; Noordwijk, M. 1992. Decomposition rates of legume residues and N mineralization in an ultisol in Lampung. *Agrivita*, [S.l.], v. 15, n. 1, 75-86 p.
- Hassink, J; Chenu, C; Dalenberg, J; Bloem, J y Bouwman, L. 1994. Interactions between soil biota, soil organic matter and soil structure. 15th World Congress of Soil Science. Vol. 4a: Commission III: Symposia. Acapulco, México. 57 p.
- Hairiah, K; Sulistyani, H; Suprayogo, D; Pratiknyo, W; Widodo, R; Noordwijk, M. 2006. Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. *Forest Ecology and Management* 224: 45–57 p.
- Hendrix, P; Crossley, D; Blair, J y Coleman, D. 1990. Soil biota as components of sustainable agroecosystems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, Iowa. 637 p.
- Hendrix, P; Baker, G; Callahan, M; Damoff, G; Fragoso, C; Gonzales, G; James, S; Lachnicht, S; Winsome, T; Zou, X. 2006. Invasion of exotic earthworms into ecosystems inhabited by native earthworms. *Biol Invasions*, [S.l.], v. 8, p. 1287-1300.

- Huhta, V.; Haimi, J. & Setälä, H. 1994. Soil fauna promote nutrient cycling-experimental evidence using simulated coniferous forest floor. 15th World Congress of Soil Science. Vol 4a: Commission III: Symposia. Acapulco, México. 76 p.
- InfoStat. 2007. InfoStat, versión 2007. Manual del usuario. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Editorial Brujas, Argentina.
- Jimenez J; Thomas R. 2003. El arado natural: Las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas Neotropicales de Colombia. Disponible en línea: <http://books.google.com.pe/books?id=y5Pb2xaYtVoC&pg=PR3&dq=Jimenez+y+thomas&hl=es&sa=X&ei=H13UpnpAszJsQTU3YCoBA&ved=0CD4Q6AEwAg#v=onepage&q=Jimenez%20y%20thomas&f=false>. Consultado el 20.03.13.
- Lavelle, P; Pashanasi, B. 1989. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia Yurimaguas, Loreto. En: *Pedobiologia* 33:283-291.
- Lavelle, P; Spain, A; Blanchart, E; Martin, A; Martin, S. 1992. The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. En: *Myths and Science of Soils of the Tropics*. SSSA Special Publication. Madison Wisconsin. 157-185 pp.
- Lavelle, P. 2001. Soil Ecology. Kluwer Academic Publishers, Países Bajos. 654 p.
- Lavelle, P; Senapati, B; Barros, E. 2003. Soil Macrofauna. En: Schroth, G; Sinclair, FL. (Eds). Trees, crops and soil fertility, allingford, CABI Publishing. 303-304 p.
- Lee, K. 1985. Earthworms their ecology and relationships with soils and land use. Canberra: Academic. 411 p.
- Martius, C; Höfer, H; Garcia, M; Römbke, J; Förster, B; Hanagarth, W. 2004. Microclimate in agroforestry systems in central Amazonia: does canopy closure matter to soil organisms. *Agroforestry Systems*, [S.l.], v. 60, p. 291-304.
- 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.
- Montenegro, E. 2005. Efecto del aporte de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE, 67 p.
- Niewenhuyse, A. 2005. Taxonomía de suelos. Presentación “Curso de manejo de suelos”. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 60 p.

- Ortiz-Ceballos, A; Fragoso, C. 2004. Earthworm populations under tropical maize cultivation: the effect of mulching with velvetbean. *Biology Fertility Soils*, Berlin, v. 39, 438 - 445 p.
- Pashanasi, M; Meléndez, G; Szott, L; Lavelle, P. 1992. Effect of inoculation with the endogeic earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae) on N availability, soil microbial biomass and the growth of three tropical fruit tree seedlings in a pot experiment. *Soil Biol Biochem* 24(12): 1655-1659.
- Pardo-Locarno, L; Velez, C; Sevilla, F; Madrid, O. 2006. Abundancia y biomasa de macroinvertebrados edáficos en la temporada lluviosa, en tres usos de la tierra, en los Andes colombianos. *Acta Agronómica (Colombia)* 55 (1): 43-54.
- Ruz-Jerez, B; Ball, P y Tillman, R. 1992. Laboratory assessment of nutrient release from a pasture soil receiving grass or clover residues, in the presence or absence of *Lumbricus rubellus* or *Eisenia fetida*. *Soil Biol. Biochem.* 24:1529
- Sánchez, S; Reinés, M. 2001. Papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes* Vol. 24, No. 3.
- 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.
- 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.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Washington D.C.: United States Government Printing Office.
- Stork, N; Eggleton, P. 1992. Invertebrates as determinants and indicator of soil quality. *Am J. Alt Agric.* 7: 38-55.
- Spain, A; Lavelle, P y Mariotti, A. 1992. Preliminary study of the effect of some tropical earthworm in plant growth. *Soil Biol. Biochem.* 24:1629.
- Tian, G; Brussaard, L; Kang, B; Swift, M. 1997. Soil fauna-mediated decomposition of plant residues under constrained environmental and residue quality conditions. In: Cadish, G; Giller, K. (Eds.). *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. Wallingford: CAB International, 125-134 p.

Virginio, E; Haggard, 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.