



Solutions for environment and development  
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

Valoración comparativa de la macrofauna de lombrices en sistemas agroforestales de café orgánico y convencional en contraste con cultivos en pleno sol y bosque, durante la época lluviosa y seca en Turrialba, Costa Rica

por

Ana Lucía Milagros Vásquez Vela

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado  
como requisito para optar por el grado de

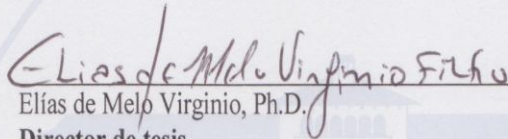
*Magister Scientiae* en Agroforestería Tropical

Turrialba, Costa Rica, 2014


Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA TROPICAL**

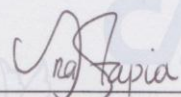
**FIRMANTES:**

  
Elias de Melo Virgínio, Ph.D.

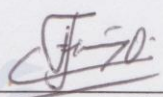
**Director de tesis**

  
Fernando Casanoves, Ph.D.

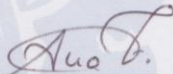
**Miembro Comité Consejero**

  
Ana Tapia, M.Sc.

**Miembro Comité Consejero**

  
Thomas Dormody, Ph.D. / Francisco Jiménez, Dr. Sc.

**Decano / Vicedecano de la Escuela de Posgrado**

  
Ana Lucía Milagros Vásquez Vela

**Candidata**

## DEDICATORIA

*A Dios por darme todo en esta vida.*

*A mi esposo Héctor Guerra por su amor, paciencia y apoyo incondicional.*

*A mi familia por ser el regalo máspreciado que Dios me dio.*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar conmigo en los pequeños y más grandes detalles de mi vida.

A mi profesor consejero Elías de Melo Virginio Filho por el estímulo y acertadas orientaciones al presente trabajo.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), por ser la institución que permitió el desarrollo de mis estudios de maestría y por ser mi hogar durante dos años.

Al Ph.D. Fernando Casanoves por su paciencia, tiempo y espíritu de colaboración al formar parte como miembro del comité del presente documento de tesis.

A la M.Sc. Ana Cecilia Tapia Fernández, por formar parte de mi comité y por sus orientaciones y sugerencias al presente documento de tesis.

De manera especial al Ing. Héctor Guerra Arévalo, por el apoyo brindado durante la etapa de campo; a Griselda Bóveda por su apoyo desinteresado en la búsqueda de información para el desarrollo del presente documento de tesis.

Al personal de campo del CATIE, particularmente a los Srs. Mainor Torres, Alfonso Ureña, José Vargas, Martín Vargas y Luis Romero, por el apoyo brindado en la etapa de campo.

Al personal de la biblioteca Orton del CATIE por la amabilidad de brindar con facilidad información importante para el desarrollo del presente documento.

A mis compañeros de la Maestría en Agroforestería Tropical: Alma Vargas, Eusebio Ayestas, José Cárdenas, Henry Ruiz, Malena Torres, promoción 2012-2013, por todos los momentos compartidos en clases.

A las personas que de una y otra forma orientaron con sugerencias y comentarios a lo largo del presente trabajo de tesis.

*La Autora*

## BIOGRAFÍA

La autora nació en Iquitos, Loreto, Perú el 08 de mayo de 1983. Realizó sus estudios de pregrado en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, donde recibió su grado de bachiller en ciencias forestales en 2007. Obtuvo su título como Ingeniero Forestal en 2010. Desarrolló su experiencia profesional en la investigación de la propagación vegetativa en especies forestales y en los últimos años se desempeñó en el área de Titulación de Propiedades Agrarias en Zonas Rurales de Ucayali, en la Dirección de Saneamiento Físico Legal de la Dirección Regional Sectorial de Agricultura Ucayali en Perú. En el 2012 inicia sus estudios de posgrado en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza en la maestría de Agroforestería Tropical.

# CONTENIDO

|   |      |
|---|------|
| DEDICATORIA.....  | III  |
| AGRADECIMIENTOS.....  | IV   |
| BIOGRAFÍA .....   | V    |
| CONTENIDO.....  | VI   |
| RESUMEN.....  | IX   |
| SUMMARY .....   | X    |
| INDICE DE CUADROS.....  | XI   |
| INDICE DE FIGURAS .....   | XIII |
| LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS, SIGLAS .....   | XIV  |
| 1 INTRODUCCIÓN.....   | 1    |
| 1.1 Definición del problema.....  | 1    |
| 1.2 Objetivos del estudio .....   | 2    |
| 1.2.1 Objetivo general .....  | 2    |
| 1.2.2 Objetivos específicos .....   | 2    |
| 1.2.3 Hipótesis del estudios .....  | 3    |
| 2 REVISIÓN DE LITERATURA.....   | 4    |
| 2.1 El cultivo de café en América Central y Costa Rica.....                               | 4    |
| 2.2 Sistemas agroforestales.....  | 4    |
| 2.3 Importancia de los sistemas agroforestales.....                                       | 5    |
| 2.4 Especies arbóreas utilizadas en sistemas agroforestales con café en Costa Rica.....   | 6    |
| 2.4.1 Cashá ( <i>Chloroleucon eurycyclum</i> ).....                                       | 6    |
| 2.4.2 Poró ( <i>Erythrina poeppigiana</i> ).....  | 7    |
| 2.4.3 Amarillón ( <i>Terminalia amazonia</i> ).....                                       | 7    |
| 2.5 Respuesta del manejo convencional y orgánico en sistemas agroforestales con café..... | 8    |
| 2.6 Ecología de las lombrices .....   | 9    |
| 2.6.1 Condiciones ambientales para la reproducción de lombrices en el suelo .....         | 11   |
| 2.6.2 Respuesta de las lombrices de tierra a los tipos de manejo .....                    | 12   |

|  |    |
|--|----|
| 2.7 Poblaciones de lombrices en sistemas de suelo.....   | 13 |
| 2.8 Abundancia y biomasa de lombrices en el suelo.....   | 14 |
| 2.9 Los sistemas agroforestales con café y su relación con las lombrices de tierra.....  | 14 |
| 2.9.1 Poblaciones de lombrices en pastizales.....  | 15 |
| 2.9.2 Lombrices de tierra en bosques secundarios.....  | 16 |
| 2.9.2 Lombrices en el cultivo de caña.....   | 16 |
| 2.10 Densidades de lombrices en diferentes épocas de muestreo.....   | 17 |
| 2.11 Relación de la materia orgánica con la abundancia y biomasa de lombrices.....   | 17 |
| 2.12 Valoración comparativa de la macrofauna de lombrices en el suelo.....   | 18 |
| 2.13 Modelos estadísticos.....   | 18 |
| 3 LITERATURA CITADA.....   | 19 |
| 4 ARTÍCULO 1: Abundancia y biomasa de lombrices en sistemas agroforestales con café convencional y orgánico durante la época lluviosa en Turrialba, Costa Rica.....  | 27 |
| 4.1 Introducción.....  | 27 |
| 4.2 Materiales y métodos.....  | 28 |
| 4.2.1 Ubicación del estudio.....   | 28 |
| 4.2.2 Metodología realizada por Aquino et al. (2008).....  | 30 |
| 4.2.3 Metodología de campo en el 2012.....   | 33 |
| 4.2.4 Análisis estadístico.....  | 35 |
| 4.3 Resultados y discusión.....  | 35 |
| 4.3.1 Abundancia de lombrices en sistemas agroforestales con café convencional y orgánico.....   | 35 |
| 4.3.2 Biomasa de lombrices en sistemas agroforestales con café convencional y orgánico.....  | 40 |
| 4.4 Conclusiones.....  | 49 |
| 4.5 Recomendaciones.....   | 51 |
| 4.6 Literatura citada.....   | 52 |
| 5 ARTÍCULO 2: Efecto de diferentes sistemas agroforestales con café, bosque secundario, pastizal cultivo de caña sobre la abundancia y biomasa de lombrices en época lluviosa y seca en Turrialba, Costa Rica..... | 57 |
| 5.1 Introducción.....  | 57 |

|   |    |
|---|----|
| <i>5.2 Materiales y métodos</i> .....   | 58 |
| <i>5.2.1 Ubicación del estudio</i> .....  | 58 |
| <i>5.2.2 Análisis estadístico</i> .....   | 62 |
| <i>5.3 Resultados y discusión</i> .....   | 62 |
| <i>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</i> ..... | 62 |
| <i>5.3.2 Biomasa de lombrices en sistemas agroforestales con café convencional y orgánico y otros sistemas de suelo durante las épocas lluviosa y seca</i> .....    | 71 |
| <i>5.3.3 Correlación de Pearson entre las variables abundancia y biomasa de lombrices</i> ...   | 77 |
| <i>5.4 Conclusiones</i> .....   | 77 |
| <i>5.5 Recomendaciones</i> .....  | 78 |
| <i>5.6 Literatura citada</i> .....  | 78 |
| <b>6 CONCLUSIONES GENERALES</b> .....   | 81 |
| <b>ANEXOS</b> .....   | 83 |
| Anexo 1. Estudios de lombrices en ensayo SAF ´s con café – CATIE comparado con otros usos en finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica .....                  | 84 |
| Anexo 2. Formato para la toma de datos de lombrices en los diferentes sistemas de uso del suelo. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica .....              | 85 |



Vásquez Vela, A.L.M. 2013. Valoración comparativa de la macrofauna de lombrices en sistemas agroforestales de café orgánico y convencional, en contraste con cultivos a pleno sol y bosque, durante la época lluviosa y seca en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 85 p.

Palabras claves: Lombrices de tierra, sistemas agroforestales, *Erythrina poeppigiana*, *Terminalia amazonia*, *Chloroleucon eurycyclum*, café convencional, café orgánico, abundancia de lombrices, biomasa de lombrices.

## RESUMEN

El trabajo consistió en la evaluación de la macrofauna de lombrices en sistemas agroforestales con café bajo sistemas de manejo convencional y orgánico durante la época lluviosa y seca. También se estudiaron tres tipos de suelo diferentes (bosque secundario, cañal y pastizal). Las variables de respuesta fueron la abundancia y biomasa de lombrices, por lo que se cuantificaron y pesaron las lombrices en los diferentes sistemas agroforestales con café, bosque secundario, cañal y pastizal. Las evaluaciones se realizaron en el ensayo de sistemas agroforestales con café, establecido en 2000 en la finca experimental del CATIE en Turrialba, Costa Rica. Este cantón está ubicado a 600 msnm y cuenta con 2600 mm de precipitación promedio anual. Los tratamientos evaluados fueron alto convencional (AC), medio convencional (MC), orgánico intensivo (MO), bajo orgánico (BO) con diferentes tipos de sombra *Erythrina poeppigiana* (E), *Chloroleucon eurycyclum* (A), *Terminalia amazonia* (T) y la combinación de dos especies arbóreas en los 20 tratamientos. Las dos variables de respuesta abundancia y biomasa de lombrices, se procesaron mediante modelos lineales generales y mixtos estructurados mediante efectos fijos del código de tratamiento, la época y los efectos aleatorios del código de tratamiento y bloque. La mayor abundancia de lombrices en los sistemas agroforestales durante la época lluviosa lo obtuvo el tratamiento *Erythrina* bajo orgánico (256,49 ind/m<sup>2</sup>) y la combinación de *C. eurycyclum*. y *T. amazonia*. medio convencional (255,84 ind/m<sup>2</sup>), respectivamente. Los tratamientos que menores valores de abundancia de lombrices obtuvieron fueron pleno sol (AC) (84,94 ind/m<sup>2</sup>) y *C. eurycyclum*. y *E. poeppigiana*. (AC) (96,40 ind/m<sup>2</sup>). Por otra parte, durante la época seca la mayor abundancia de lombrices se dio en los tratamientos *T. amazonia* bajo orgánico (245,83 ind/m<sup>2</sup>), *C. eurycyclum* y *T. amazonia*. (MC) (204,37 ind/m<sup>2</sup>) contrastando con los menores valores que obtuvieron los tratamientos a pleno sol (MC) (70,47 ind/m<sup>2</sup>) y pleno sol (AC) (96,50 ind/m<sup>2</sup>). El mayor valor de biomasa lo obtuvo *E. poeppigiana* (BO) (126,78 g/m<sup>2</sup>), mientras que el tratamiento que menor valor de biomasa obtuvo el pleno sol (AC) (24,77 g/m<sup>2</sup>). Con respecto a los otros tipos de suelo estudiados, cañal reportó los menores valores de abundancia (62,41 ind/m<sup>2</sup>) con una biomasa de lombrices de (28,11 g/m<sup>2</sup>) durante la época lluviosa; pastizal alcanzó (437,76 ind/m<sup>2</sup>) con una biomasa de lombrices de (186,49 g/m<sup>2</sup>) y bosque secundario (559,57 ind/m<sup>2</sup>) con una biomasa de lombrices (196,74 g/m<sup>2</sup>) pero durante la época seca.

Vásquez Vela, A.L.M 2013. Comparative assessment of earthworm macrofauna in organic coffee agroforestry systems and conventional crops in contrast to full sun and forest during the rainy and dry seasons, in Turrialba, Costa Rica. Mag Sc. Thesis CATIE, Turrialba, Costa Rica. 85 p.

Keywords: Earthworms, agroforestry systems, *Erythrina poeppigiana*, *Terminalia amazonia*, *Chloroleucon eurycyclum*, coffee, conventional organic earthworm abundance and biomass of earthworms.

## SUMMARY

The work consisted in assessing earthworm macrofauna in agroforestry systems with coffee under organic and conventional management during the rainy and dry. Furthermore, to have three different soil systems (canefield, pasture, secondary forest). The response variables were the abundance and biomass of earthworms, for this, were quantified and weighed the worms in different coffee agroforestry systems, secondary forest, pasture and canal. Evaluations were performed in testing coffee agroforestry systems, established in 2000 at the experimental farm of CATIE in Turrialba, Costa Rica; canton is located 600 m to 2600 mm of annual precipitation. The conventional treatments were high (AC), conventional means (MC), intensive organic (MO), low organic (BO) with different types of shade *Erythrina poeppigiana* (E), *Chloroleucon eurycyclum* (C), *Terminalia amazonia* (T) and the combination of two tree species in the 20 treatments. The two response variables were processed using general linear mixed models structured by code fixed effects treatment, time and the random effects of treatment and block code. The greater abundance of earthworms in agroforestry systems during the rainy season was won *Erythrina* low organic treatment (256.49 ind/m<sup>2</sup>) and the combination of *C. eurycyclum* and *T. amazonia* conventional means (255.84 ind/m<sup>2</sup>), respectively, in contrast to the treatments under earthworm abundance values obtained full sun (AC) (84.94 ind/m<sup>2</sup>) and *C. eurycyclum* and *E. poeppigiana* (AC) (96.40 ind/m<sup>2</sup>). Moreover, during the dry season as he got plenty of worms and *Chloroleucon* treatments. and *T. amazonia* (MC) (204.37 ind/m<sup>2</sup>) and *T. amazonia* low organic (245.83 ind/m<sup>2</sup>), contrasting with the lowest values obtained in full sun treatments (MC) (70.47 ind/m<sup>2</sup>) and full sun (AC) (96.50 ind/m<sup>2</sup>). As the highest value of biomass was won *E. poeppigiana* (BO) (126.78 g/m<sup>2</sup>) contrasting with the treatment lower biomass value obtained full sun (AC) (24.77 g/m<sup>2</sup>). With respect to the other systems tested soil, canal reported the lowest abundance values (62.41 ind/m<sup>2</sup>) with earthworm biomass (28.11 g/m<sup>2</sup>) with conventional management during the rainy season, which did not happen with pasture that achievement (437.76 ind/m<sup>2</sup>) with earthworm biomass (186.49 g/m<sup>2</sup>) and secondary forest (559.57 ind/m<sup>2</sup>) with a biomass of earthworms (196.74 g/m<sup>2</sup>) but during the dry season.

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Cuadro 1. Diseño del experimento llevado a cabo en la finca experimental del CATIE, Turrialba, Costa Rica.....</i>  | <i>29</i> |
| <i>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.....</i> | <i>30</i> |
| <i>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..</i>  | <i>31</i> |
| <i>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.....</i>                                   | <i>32</i> |
| <i>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.....</i>                                       | <i>33</i> |
| <i>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.....</i>   | <i>33</i> |
| <i>Cuadro 7. Medias ajustadas y errores estándares para la abundancia de lombrices (ind/m<sup>2</sup>) usando modelos lineales generales y mixtos durante la evaluación del 2012.....</i>  | <i>38</i> |
| <i>Cuadro 7. Medias ajustadas y errores estándares para la abundancia de lombrices por metro cuadrado usando modelos lineales generales y mixtos.....</i>  | <i>38</i> |
| <i>Cuadro 8. Modelo lineal general y mixto. Tabla de análisis de varianza mostrando las pruebas de hipótesis marginal.....</i>   | <i>39</i> |
| <i>Cuadro 9. Medias ajustadas y errores estándares para la biomasa de lombrices (ind/m<sup>2</sup>) usando modelos lineales generales y mixtos durante la evaluación del 2012.....</i>   | <i>41</i> |
| <i>Cuadro 10. Modelo lineal general y mixto. Tabla de Análisis de Varianza mostrando las pruebas de hipótesis marginal.....</i>  | <i>44</i> |
| <i>Cuadro 11. Diseño del experimento que permitió la combinación de niveles de manejo y tipos de sombra. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica.....</i>  | <i>59</i> |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>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 .....</i>            | <i>60</i> |
| <i>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 .....</i>         | <i>61</i> |
| <i>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 .....</i> | <i>66</i> |
| <i>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.....</i>   | <i>67</i> |
| <i>Cuadro 16. Modelo lineal general y mixto. Tabla de Análisis de Varianza mostrando las pruebas de hipótesis marginal .....</i>   | <i>69</i> |
| <i>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.....</i>   | <i>70</i> |
| <i>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 experiemental CATIE, Turrialba, Costa Rica.....</i>     | <i>73</i> |
| <i>Cuadro 19. Análisis de varianza mostrando las pruebas de hipótesis marginal para biomasa de lombrices. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica.....</i>   | <i>75</i> |
| <i>Cuadro 20. Pruebas de hipótesis para contrastes de la biomasa de lombrices en las épocas lluviosa y seca. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica.....</i>  | <i>76</i> |
| <i>Cuadro 21. Correlación de Pearson entre las variables de respuesta abundancia y biomasa ... ..</i>  | <i>77</i> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |           |
|--|-----------|
| <i>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.....</i>         | <i>34</i> |
| <i>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.....</i> | <i>42</i> |
| <i>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.....</i>       | <i>43</i> |
| <i>Figura 4. Prueba de normalidad de abundancia .....</i>  | <i>45</i> |
| <i>Figura 5. Prueba de normalidad de biomasa.....</i>  | <i>45</i> |
| <i>Figura 6. Prueba de homogeneidad de varianzas en abundancia .....</i>   | <i>46</i> |
| <i>Figura 7. Prueba de homogeneidad de varianzas en biomasa.....</i>   | <i>46</i> |
| <i>Figura 8. Temperatura del suelo de los diferentes sistemas agroforestales con café durante el periodo lluvioso del 2012. Finca comercial CATIE, Turrialba, Costa Rica .....</i>   | <i>48</i> |
| <i>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.....</i>                                    | <i>48</i> |
| <i>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.....</i>                                   | <i>68</i> |
| <i>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 .....</i>                                     | <i>74</i> |

## LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

|         |   |
|---------|---|
| ANOVA:  | Análisis de varianza                                    |
| AC:     | Alto convencional                                       |
| BS:     | Bosque secundario                                       |
| BO:     | Bajo orgánico   |
| CATIE:  | Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza |
| CA:     | Cañal   |
| FAO:    | Food and Agriculture Organization                       |
| ICAFFE: | Instituto del café de Costa Rica                        |
| MO:     | Orgánico intensivo                                      |
| MC:     | Medio convencional                                      |
| PZ:     | Pastizal  |
| SAF:    | Sistemas agroforestales                                 |
| TSBF:   | Tropical Soil Biology and Fertility                     |
| USDA:   | United State Departament of Agriculture                 |

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Definición del problema

En Latinoamérica, los suelos tropicales han sufrido impactos negativos debido mayormente al manejo que involucra directamente el uso intensivo de insumos químicos (Cubero y Viera 1999; Vázquez 2006). En las últimas décadas, los estudios sobre el uso del suelo dedicado a la caficultura, destacan el manejo y los sistemas a los cuales se adaptan estas plantaciones, que apuestan a dar grandes rendimientos y/o beneficios a más de 20 millones de personas, principalmente con fines de subsistencia y calidad de vida (Somarriba *et al.* 2004). En ese sentido, los estudios con base en sistemas agroforestales con café se relacionan con diferentes organismos responsables principalmente de la calidad y fertilidad del suelo, para un mejor aprovechamiento y uso sostenible del mismo. Las lombrices de tierra son aquellos agentes de la macrofauna descomponedores de toda la materia orgánica y la dinámica del ciclo de nutrientes en el medio edáfico. Por mucho tiempo, se ha tratado de comprender y explicar las sinergias y beneficios de las lombrices de tierra con el suelo y su relación con los diferentes sistemas de uso de los suelos, con base en las respuestas sobre la dinámica de desarrollo y adaptación en términos de densidad y biomasa de lombrices. Estas respuestas aún no han sido del todo explicadas, sobre todo en los diferentes sistemas agroforestales asociados a cultivos y árboles maderables y no maderables fijadores y no fijadores de nitrógeno.

Sobre el medio edáfico existen muchas evidencias que confiere a la actividad antrópica la principal causa de afectación a la biología reproductiva y el desarrollo de las lombrices, al repercutir significativamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y por ende, en la productividad de los sistemas agroforestales, plantaciones forestales, cultivos y pastizales (Edwards y Lofty 1982). Es importante destacar que la presencia de lombrices en el suelo favorece significativamente los procesos de agregación y descomposición de la materia orgánica así como del reciclaje de nutrientes (Domínguez *et al.* 2009). De esta manera, los micronutrientes y macronutrientes que se incorporan al suelo, son directamente asimilables para las plantas; ello favorece el rendimiento productivo de los diferentes sistemas agroforestales con café y otros. Cabe señalar que el rendimiento es influenciado también por los diferentes tipos de cobertura y fertilización de los suelos (Lavelle *et al.* 2003).

Por lo general, se considera que los sistemas agroforestales con café tienen un efecto positivo en la conservación de la biodiversidad y la calidad del suelo, ya que mantienen estructuras similares a los bosques (Sánchez *et al.* 2006; Domínguez *et al.* 2009). De ahí la importancia de enfocar investigaciones que permitan estudiar las potencialidades de este sistema particularmente en Centroamérica. En el área de estudio se evidencia la existencia de grandes asociaciones de árboles fijadores de nitrógeno y no fijadores, que interactúan de manera directa e indirecta con la macrofauna en el suelo. La evaluación de la macrofauna de lombrices en los diferentes sistemas de uso del suelo y época del año permitirá conocer ¿cuál

es la relación de la abundancia y la biomasa de lombrices en la época lluviosa y seca y cuál es la dinámica en los diferentes sistemas agroforestales con café bajo manejo convencional y orgánico, en contraste con cultivos a pleno sol, bosque secundario, pastizal y cañal?

Además, esta evaluación puede contribuir a planificar y tomar conciencia sobre la importancia de estos organismos en las actividades agronómicas y/o forestales. La presencia de esta macrofauna, pero sobre todo su manejo adecuado, es vital para el buen funcionamiento de un determinado sistema de suelo. Las lombrices de tierra mejoran la calidad de los suelos, se encargan de la descomposición y estructura modificando las propiedades físicas, químicas y biológicas. Sin embargo, se conoce poco sobre su comportamiento en sistemas agroforestales con manejo convencional y orgánico en la época lluviosa y seca. Por ello, el estudio sobre la abundancia de lombrices de tierra en estos sistemas en ambas épocas permitirá conocer los procesos de adaptación de estos organismos. Ello contribuirá a lograr un manejo sostenible de los recursos biológicos (Lavelle *et al.* 2001).

El presente estudio tiene como objetivo determinar la macrofauna de lombrices en diferentes sistemas de uso del suelo y en particular de sistemas agroforestales con café bajo manejo convencional y orgánico durante las épocas lluviosa y seca.

## **1.2 Objetivos del estudio**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar la macrofauna de lombrices en diferentes sistemas de uso del suelo y en particular de sistemas agroforestales con café bajo manejo convencional y orgánico durante las épocas lluviosa y seca.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- 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 época lluviosa.
- Determinar la abundancia y biomasa de lombrices en diferentes sistemas de uso del suelo (cañal, bosque secundario, pastizal, SAF) durante la época lluviosa y seca.
- Evaluar el efecto del sistema de manejo de insumos y del tipo de sombra en los diferentes sistemas agroforestales con café sobre la abundancia y biomasa de lombrices durante la época lluviosa y seca.



### **1.2.3 Hipótesis del estudio**

- Los sistemas agroforestales con café bajo manejo convencional y orgánico afectan la dinámica de la abundancia y biomasa de lombrices en las épocas lluviosa o seca.
- El efecto del tipo de manejo de insumos y el tipo de sombra influyen en la abundancia y biomasa de lombrices durante las épocas lluviosa y seca en los diferentes SAF con café convencional y orgánico.
- Los sistemas agroforestales con café orgánico y convencional presentan mayor abundancia de lombrices que el bosque secundario en las épocas lluviosa y seca.
- El cultivo de caña y los pastizales son mejores en cuanto al mayor número y peso de lombrices que los sistemas agroforestales con café bajo manejo convencional y orgánico entre la época lluviosa y seca.

## **2 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 El cultivo de café en América Central y en Costa Rica**

Se presume que la historia del cultivo de café en América comenzó a partir de 1720 cuando se introdujeron las primeras semillas de la variedad típica “Caturra” desde las Antillas. Este cultivo se expandió más tarde y llegó a la provincia de Costa Rica a finales del siglo XVIII (Gonzales 1998; ICAFE 2012). En Centroamérica, Costa Rica fue el primer país que pudo en ese entonces implantar de manera próspera el cultivo pues las primeras plantaciones se ubicaron en suelos muy fértiles y de origen volcánico con periodos lluviosos, secos y temperaturas relativamente favorables a lo largo de todo el año para el desarrollo del cultivo (ICAFE 2012). Desde ese entonces el café ha contribuido potencialmente al desarrollo económico y social de Costa Rica, hasta convertirse en el cultivo más sembrado por muchos costarricenses en varias zonas del país. Sin embargo, el futuro del sector cafetalero nacional en tiempos de globalización depende mucho de la capacidad de mercado y negociación sin dejar de lado la calidad y técnica del café que se produzca (Monge 1999).

El producir un café de calidad comparable al de otros países con mayor volumen de producción no es favorable para una entrada competitiva en el mercado internacional (Monge 1999). Costa Rica y otros países en desarrollo están de acuerdo en que el café es uno de los productos de exportación más importantes y que representa una fuente de ingresos importante para millones de productores, en su mayoría pequeños agricultores (Donald 2004; Hagggar 2011; Häger 2012). En este país se tomó consciencia sobre las formas y alternativas de producción que sean sostenibles y rentables para muchos productores y que sobretodo se produzca café de buena calidad para destino internacional.

Dentro de las alternativas de producción viables de este cultivo, se encuentran los sistemas agroforestales en asocio con diferentes especies arbóreas que sirven como sombra que generan un microclima adecuado que favorece el crecimiento del cultivo. Los árboles de sombra tienen un papel muy importante en la absorción y reciclaje de nutrientes del suelo (Young 1999; Payán *et al.* 2009). En estos sistemas es importante conocer detalladamente los efectos de organismos benéficos presentes en el suelo, como lo son las lombrices de tierra, cuya presencia es uno de los más importantes indicadores de calidad del suelo.

### **2.2 Sistemas agroforestales**

Actualmente, los sistemas agroforestales han resultado ser un uso del suelo factible y viable para la recuperación de suelos degradados debido a la presencia de árboles, arbustos y leguminosas que se incorporan (Gándara *et al.* 2007). Los sistemas agroforestales (SAF) se definen como “el conjunto de tecnologías de manejo de suelo, nutrientes, agua y vegetación, que incluye la gestión del suelo, el manejo agronómico del cultivo y el manejo forestal en los sistemas productivos” (FAO 2008).

Algunas ventajas importantes de estos sistemas es que poseen componentes, subcomponentes, límites, entradas, salidas e interacciones (Hart 1985; Beer *et al.* 2003; FAO 2008). Entre estas ventajas se destaca la ayuda en: i) la recuperación de suelos degradados; ii) el control de la erosión de los suelos; iii) la diversificación de los cultivos; iv) mejora las condiciones biofísicas del sitio a través del manejo agrícola (limpias y fertilización) con mejores tasas de sobrevivencia y crecimiento de los árboles; v) el asocio árbol-cultivo también ayuda a reducir la dispersión de enfermedades y plagas de los árboles como *Fusarium* o el barrenador *Hypsipyla grandella*; vi) los cultivos de porte alto ayudan a proteger del viento a los cultivos de porte bajo; además de vii) mejorar la calidad de vida de las familias productoras ya sean estas pequeñas, medianas o grandes; finalmente, por la importancia de los sistemas agroforestales, viii) pueden adaptarse mejor a los impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre las distintas condiciones de los cultivos (p.e el asocio del cultivo café o cacao con especies forestales de alto valor comercial) (Beer *et al.* 2003; FAO 2008).

### **2.3 Importancia de los sistemas agroforestales con café**

Por mucho tiempo, las malas prácticas de manejo han sido las responsables de la degradación de los suelos tropicales y de diversos cultivos. Sin embargo, para muchos agricultores ha sido estratégico incorporar el componente arbóreo con diferentes cultivos y formar sistemas agroforestales controlados agrónomicamente de forma sostenible con el fin de mejorar potencialmente la productividad de la finca o sitio determinado. En términos generales, el establecimiento de sistemas agroforestales ha brindado protección al medio ambiente en todos los aspectos. La complejidad biológica y estructura de los sistemas agroforestales han conllevado a fortalecer capacidades en manejo, logrando rendimientos sostenibles mayores por unidad de superficie en tiempo y espacio (Fournier 1981). Por otra parte, las ventajas físico-biológicas que abarcan los sistemas agroforestales comparadas con los sistemas tradicionales están vinculadas por el mayor aporte de biomasa producido por el componente arbóreo dentro del sistema, por la protección y la conservación de la cobertura forestal que mejoran las propiedades físicas del suelo tanto en su estructura y en la disminución de las probabilidades de erosión en el sistema y en la evaporación (Budowski 1980; Fournier 1981). Las ventajas socio-económicas de estos sistemas involucran positivamente el asocio de árboles y animales de los cuales se obtienen productos diversos que aseguran un capital de forma mediata e inmediata para el agricultor por la venta de diversos productos (leña, madera, leche, carne, etc.). Este capital representa un ingreso para el productor que puede suplir algunas necesidades financieras (Budowski 1980).

Dentro de las desventajas de los sistemas agroforestales se destacan la competencia de los componentes vegetales por nutrientes, agua y luz, un efecto alelopático, la mecanización por la extracción de árboles en el sistema y la acción del goteo de las copas de árboles que causa ataques fúngicos por una alta humedad. En sistemas manejados intensivamente es muy común que lo anterior provoque pérdidas de gran cantidad de nutrientes (Fournier 1981). Las limitaciones socioeconómicas están más relacionadas a la complejidad en el manejo de los

sistemas debido a que demanda mayor mano de obra que en muchos casos podría ser escasa y cara, pero básicamente necesaria. Los costos y la demanda de mayor mano de obra podrían convertirse en un factor negativo cuando la mecanización en el manejo es la mejor solución para el cuidado de los árboles (CATIE 2001; Mendieta 2007).

También, en algunos casos estas prácticas solo son para la subsistencia y no para una producción a mayor escala con rendimientos altos, debido a que se dan en un contexto de menor conocimiento del potencial, asistencia técnica, e incentivos gubernamentales sobre los sistemas agroforestales (CATIE 2001; Mendieta 2007).

Por otra parte, experiencias en sistemas agroforestales en Costa Rica muestran la verdadera importancia de estas prácticas en el uso adecuado de especies arbóreas las cuales favorecen oportunamente a los diferentes cultivos, ya sean estos anuales o perennes. Por ejemplo, en cultivos con *Coffea arabica* se han introducido mayormente combinaciones de especies arbóreas como *Cordia alliodora*, y *Erythrina sp.* en diferentes regiones (Beer *et al* 1979). Con los años también se han sumado diferentes combinaciones de especies arbóreas que corresponden a características de árboles forestales con alto valor comercial como *Terminalia amazonia*, *Cedrela odorata* entre otras; y especies arbóreas leguminosas como la especie *Erythrina poeppigiana* “poró” y las *Inga spp.*

## **2.4 Especies arbóreas utilizadas en sistemas agroforestales con café en Costa Rica**

### **2.4.1 Cashá (*Chloroleucon eurycyclum*)**

El cashá tiene una amplia distribución en Centroamérica, principalmente en los bosques húmedos tropicales, nublados y en áreas inundables de manglares a lo largo de las costas; su crecimiento puede llegar hasta los 25 m y 80 cm de dap. Su madera es utilizada para la fabricación de muebles, herramientas, acabados y artesanías, posee características de alta durabilidad que permite ser usada como postes. En Costa Rica existen experiencias para emplearla como sombra en los cultivos de café; y, por la estructura de la copa, asienta bien combinar la especie con otros árboles de características casi similares y/o bajas. Cashá es una especie que puede florecer a los cinco años de ser plantada; la etapa de floración comienza en marzo, y fructifica en los meses de julio a agosto (CATIE 1999). Los resultados han sido buenos, a pesar del alto costo que implica su manejo en etapas iniciales. En muchos casos se ha visto favorecida por los fertilizantes minerales y orgánicos aplicados a ensayos agroforestales de café bajo orgánico, orgánico intensivo, medio y alto convencional, ubicados en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica.

Los estudios realizados por Montenegro (2005), Romero (2006), Sánchez-De León (2006), Merlo (2007), Aquino *et al.* (2008) y Salgado (2010) fueron los primeros llevados a

cabo en sistemas agroforestales con café en el CATIE. En estos ensayos se compararon los asociados de esta especie bajo niveles de insumos orgánicos y convencionales. Los resultados de Aquino *et al.* (2008) muestran que la especie *C. eurycyclum* respondió mejor en el sistema orgánico intensivo en cuanto a abundancia y biomasa de lombrices por metro cuadrado (305 ind/m<sup>2</sup> y 96 g/m<sup>2</sup>). Actualmente, en la hacienda Aquiares en Turrialba, Costa Rica se ha considerado a esta especie como sombra dentro sus plantaciones cafetaleras, a raíz de los primeros estudios realizados en los ensayos experimentales del CATIE.

#### **2.4.2 Poró (*Erythrina poeppigiana*)**

*E. poeppigiana* es una especie que se distribuye de forma natural en los bosques húmedos a lo largo de la cuenca del Amazonas y el Orinoco en toda América del Sur. En Centroamérica esta especie fue introducida a partir de los años 1800 principalmente en Costa Rica, Honduras, e incluso Cuba, dándose altas regeneraciones naturales en bosques de estos países (CATIE 1999). Este es un árbol de hojas caducas que puede tolerar suelos ácidos, sequía moderada y sombra; se adapta a suelos aluviales, volcánicos, y ferrasoles con textura franca arcillosa a franca, soporta temperaturas tanto bajas como frías (18 a 20°C); crece en altitudes de 50 a 2400 msnm, con precipitaciones de 1200 a 1400 mm/año. En Costa Rica es utilizada como sombra para cultivos como el cacao y el café; a pesar de poseer podas frecuentes durante su manejo, lo que no es común en otros árboles (CATIE 1999).

La especie ha sido ampliamente utilizada desde hace muchos años en los cultivos de café y otros. Su utilidad ha sido principalmente como sombra y aportadora de nitrógeno por ser una especie fijadora natural en el suelo (Fournier 1981). Además mejora la producción de café ya que su sombra es de fácil manejo y muy homogénea en este y otros cultivos como el cacao e incluso la pimienta; tiene la ventaja de reducir malezas y de combinarse con otras especies tradicionales como el laurel (*Cordia alliodora*). Las características de la especie no solo la han hecho útil en sistemas agroforestales sino también en sistemas agrosilvícolas, silvopastoriles y agrosilvopastoriles, donde se ha demostrado que mejora la calidad del suelo por los aportes de materia orgánica al sistema. Su madera también puede ser utilizada para leña y otros.

#### **2.4.3 Amarillón (*Terminalia amazonia*)**

La especie se distribuye de forma natural desde el golfo de México hasta las Guyanas de América del sur. Se ubica en planicies y laderas de los bosques húmedos en altitudes entre 40 a 1200 msnm, con precipitaciones de 3000 mm. Crecen de manera efectiva en suelos arcillosos y francos con pH de ácido a neutro (CATIE 1999). Al igual que *Chloroleucon eurycyclum* y *Erythrina poeppigiana*, *T. amazonia* también está siendo evaluada individualmente o combinada en los ensayos de café en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

## 2.5 Respuesta del manejo convencional y orgánico en sistemas agroforestales con café

Según Montenegro (2005), aún son incipientes los estudios comparativos basados en el manejo convencional y orgánico de cultivos perennes en sistemas agroforestales. Sin embargo, los pocos estudios relacionados sobre este tipo de manejo demostraron que en sistemas agroforestales con café bajo niveles de insumos medio convencional (MC) y orgánico intensivo (MO) combinado con *Erythrina* se obtuvieron mayores aportes de biomasa (entre 11.790 kg/ha y 10.072 kg/ha). No obstante, bajo niveles de insumos alto convencional con *Erythrina* se obtuvieron 2.407 kg/ha diferenciándose significativamente de los tratamientos MC y MO que con la combinación de *Terminalia* tuvieron solamente 1.270 y 1.295 kg/ha comparativamente.

Otros estudios similares en sistemas agroforestales con café bajo tres composiciones arbóreas (*Erythrina*, *Terminalia* y *Chloroleucon*), no mostraron diferencia alguna entre tratamientos convencionales y orgánicos en aporte de biomasa (Montenegro 2005; Romero 2006). Sin embargo, tratamientos con las leguminosas *Erythrina* y *Chloroleucon* mostraron aportes de biomasa superiores a los tratamientos con *Terminalia* (14.335 kg/ha y 9.034 kg/ha respectivamente). No obstante, las comparaciones entre estas leguminosas indicaron que los tratamientos con *Erythrina* obtuvieron biomásas de 19.534 kg/ha; en los sistemas bajo manejo de sombra y niveles de insumo, fue superior a los tratamientos con *Chloroleucon* (9.136 kg/ha) en aporte de biomasa total (Montenegro 2005; Romero 2006).

Por otra parte, estudios sobre el comportamiento productivo del café en sistemas agroforestales con manejo convencional y orgánico en Turrialba, Costa Rica, indican que el mayor rendimiento promedio en producción de café lo obtuvieron los tratamientos convencionales (Sánchez De-León *et al.* 2006), en los niveles medio y alto convencional asociados con las especies arbóreas *Erythrina*, *Terminalia* y *Chloroleucon* respectivamente. Sin embargo, con el transcurrir del tiempo los rendimientos aumentaron significativamente con los tratamientos orgánicos (Sánchez De-León *et al.* 2006) que en las primeras cosechas de producción de café reportaron una producción promedia baja (Merlo 2007).

Se han encontrado evidencias de que la producción orgánica de café se ve favorecida con podas oportunas de *Erythrina* e insumos externos como es el uso de estiércol de pollo (Hagggar *et al.* 2011). Por lo tanto, las respuestas en el desarrollo y producción de los cultivos bajo sistemas agroforestales no sólo dependen del manejo convencional u orgánico propiamente del cultivo, sino también del tipo y manejo de la sombra y el tipo de cobertura e insumos mejoradores orgánicos (p.e. estiércol de pollo) y la macrofauna existente (p.e. lombrices de tierra) en el suelo.

Salgado (2010) evaluó la fijación de carbono en la biomasa aérea y la rentabilidad financiera de sistemas agroforestales con café manejado convencional y orgánicamente en los ensayos experimentales en Turrialba, Costa Rica y Masatepe, Nicaragua. Esta autora comparó los sistemas de acuerdo al nivel de insumo alto, medio convencional, orgánico intensivo, bajo orgánico con sombra de las especies *Erythrina p.*, *Chloroleucon e.*, *Terminalia a.*, *Simarouba a* y *Tabebuia o.* Según sus resultados, en Costa Rica los tratamientos con *Chloroleucon* mostraron mayores aportes de biomasa aérea (entre 55 y 69 t/ha), mientras que en Nicaragua los tratamientos con sombra combinada de *Simarouba* y *Tabebuia* lograron mayores valores de biomasa aérea (entre 42 y 64 t/ha). Salgado (2010) concluye que la producción de café con sombra y orgánico es más estable en comparación con los sistemas de producción a pleno sol y generan ingresos constantes que mejoran los beneficios anuales y la rentabilidad de toda la producción de café.

## 2.6 Ecología de las lombrices

Las lombrices de tierra son invertebrados pertenecientes al Orden Oligochaeta, que se alimentan de toda la materia orgánica del suelo (restos de cosechas, hojas, tallos, estiércol de animales, etc.) en cantidad equivalente a su propio peso. Durante el proceso de digestión las lombrices liberan nutrientes (p.e. nitrógeno, fósforo, etc.) para formar la materia orgánica y convertirla en humus asimilable por las diferentes plantas (Barois et al. 1987 y Lavelle *et al.* 1992; BUN CA 1999). La digestión es regulada por una mezcla de enzimas producidas en las paredes del tracto digestivo y por la microflora del suelo consumida en el proceso de alimentación de las lombrices. En condiciones de abundancia de agua, las lombrices salen a la superficie y emigran hacia ambientes más propicios. Las acciones antrópicas han sido una de las principales responsables de su dispersión en el suelo (Lavelle y Spain 2001).

Satchell 1983; Domínguez *et al.* 2009 indicaron que las lombrices cumplen un papel importante al participar en la génesis y fertilidad del suelo. Por lo anterior, se ha dado mucha importancia a desarrollar investigaciones que permitan explicar estas dinámicas en relación a diferentes sistemas de cultivos. En la agricultura, las lombrices no solo permiten mejorar la calidad y salud del suelo, sino que también mejoran significativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas (Jiménez y Thomas 2003), favoreciendo de esta manera el desarrollo de los cultivos (Edwards y Bohlen 1996; BUN-CA 1999).

Las lombrices construyen canales que facilitan el paso del aire, mejorando el drenaje del suelo; proceso que se considera primordial para el desarrollo de las raíces de los cultivos. Asimismo, las lombrices de tierra suelen causar efectos importantes en el desarrollo del perfil del suelo al profundizar la zona humificada. La evidencia del efecto de las lombrices en ecosistemas terrestres ha quedado registrada a través de su presencia en suelos recuperados (Hoogerkamp *et al.* 1983; Pérez-Molina y Cordero 2012).

Según Edwards y Bohlen (1996), las lombrices de tierra constituyen la mayor biomasa animal en la mayoría de los ecosistemas templados terrestres al cumplir un papel importante en la modificación de la estructura y aceleración de la descomposición de la materia orgánica y del reciclado de nutrientes (Domínguez *et al* 2009). Hasta hoy, se han descrito más de 8000 especies de lombrices de tierra; aunque de la gran mayoría sólo se conoce el nombre y su morfología. Los nichos ecológicos de estos organismos los permiten clasificar en tres grupos principales con características distintivas entre ellos: i) Anécicas, ii) Epígeas y iii) (Merino 1996).

En el medio edáfico las lombrices son aquellos organismos clasificados como macrofauna responsables de promover una mejora en la agregación y el ciclo del carbono que más adelante se verá reflejado en la productividad de diferentes sistemas de suelo (Edwards y Bohlen 1996; Scullion y Malik, 2000). Los procesos y efectos bióticos de escala temporal son cada vez más intensos en la macrofauna, es por ello que las lombrices actúan de manera favorable como ingenieros del ecosistema terrestre (Lavelle 1997). Estos ingenieros se definen como organismos capaces de producir estructuras físicas que permiten cambiar la disponibilidad de recursos para otros organismos, de tal manera que sus actividades pueden hacer variar las comunidades de otros organismos presentes en el suelo (Jones *et al.* 1994). Es importante considerar las relaciones entre los invertebrados y los microorganismos ya que sus tamaños corporales y hábitos en cuanto a movilidad y tipo de alimentación es lo que facilita la forma de intervención en los procesos del suelo (Linden *et al.* 1994).

Las lombrices son grandes y posibles de muestrear. Es decir, son especies que dejan signos físicos de su presencia en el suelo, los cuales pueden ser útiles para determinar su importancia en un sistema en particular. Sin embargo, una de las limitantes de las lombrices de tierra como indicadores es su ausencia en ciertos tipos de suelos, tal como los suelos de ecosistemas áridos (Blair *et al.* 1996). Asimismo, las lombrices son bioindicadoras de la salud del suelo (Paoletti *et al.* 1998). Las lombrices se caracterizan por la forma en la que operan a diferentes escalas de tiempo y de espacio. En ese sentido, juegan un papel importante en los medios terrestres donde se encuentran presentes, ya que contribuyen en la fertilidad del suelo, facilitando no solo el desarrollo de las plantas sino también mejorando las propiedades químicas, físicas y biológicas (Syers y Springett, 1984; citado por Merino, 1996; Sánchez-De León *et al.* 2006).

Por lo tanto, es evidente que el impacto producido por las madrigueras de las lombrices puede cambiar de manera positiva la estructura en el suelo, incrementando la aireación y porosidad a través de la formación de agregados sólidos (Domínguez *et al.* 2003). Muchos autores han encontrado que en pasturas tropicales las lombrices de tierra son importantes elementos del sistema descomponedor, y que son responsables de la asimilación de hasta un 15% de la producción primaria bruta anual en esos ecosistemas (Lee 1985). Además, pueden ser utilizadas con fines prácticos para mejorar la fertilidad de los suelos con pastos y producir



vermi-compost de los residuos orgánicos que expulsan las propias lombrices y que son fuentes de proteínas y de nutrientes de alta calidad (Harstenstein y Harstenstein 1981).

Las lombrices también influyen en las plantas sobre todo en la distribución de los nutrientes y la composición química de los suelos por la incorporación de sus propios desechos metabólicos (excremento, orina, mucus, etc.) y del tejido muerto el cual es reciclado en el ecosistema planta/suelo; de esta manera se proporcionan nutrientes para las plantas. Además las lombrices forman depósitos de materiales fecales en la superficie del suelo y en las galerías que excavan en la tierra, cuyas formaciones en los horizontes del suelo son ricos en materia orgánica. Asimismo, hay un fluido de transporte de mantillo vegetal parcialmente descompuesto, además de otros detritus orgánicos hacia las diferentes capas inferiores del suelo (Lee 1985).

### ***2.6.1 Condiciones ambientales para la reproducción de lombrices en el suelo***

Las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo y reproducción de las lombrices de tierra varían entre 18 y 25°C de temperatura, una humedad de 80% un pH entre 6,5 y 7,5 y baja luminosidad. Estos organismos son muy sensibles a los rayos ultravioletas los cuales pueden matarlos en minutos. Bajo estas condiciones se podrían llegar a producir cerca de 10.000 lombrices por año lo cual produciría un 60% de ingesta en forma de humus de lombriz en el suelo (Ibáñez 2011). Se considera que la temperatura es uno de los principales factores que influyen en la reproducción, producción de vermicompost y fecundidad de las cápsulas.

Cuando la temperatura es menor a 15°C las lombrices entran en un período de latencia, disminuyen su actividad y dejan de crecer y reproducirse. En estas condiciones los cocones (huevos) podrían no eclosionar los embriones podrían pasar más tiempo encerrados esperando a que se presenten condiciones adecuadas para ello. La humedad en el suelo influye directamente en la reproducción de lombrices; cifras entre 70 y 80% de humedad son las más adecuadas para la reproducción de lombrices. Sin embargo, cifras superiores a 85% e inferiores a 70% hacen que las lombrices entren en un periodo de latencia afectando la producción y causando efectos mortales en ellas (Ibáñez 2011).

La descomposición de la materia orgánica también juega un papel muy importante en la reproducción de las lombrices ya que incluye una fase activa y directa en relación a la actividad de las lombrices, pues como ya se indicó, cuando procesan materia orgánica modifican las propiedades físicas y la composición microbiana. Durante la fase de maduración, los microbios toman el control de la descomposición del material procesado por las lombrices. Sin embargo, estas participan en la descomposición de la materia orgánica la cual es favorecida por la acción de microorganismos endosimbiontes que viven en el intestino de las lombrices produciendo enzimas extracelulares que degradan fácilmente celulosa y distintos compuestos fenólicos, lo que conlleva a un aumento en la degradación del material ingerido (Aira *et al.* 2008).

La dinámica de las lombrices acelera la descomposición de los restos vegetales, aumentando la tasa de transformación de nutrientes y promoviendo la agregación del suelo, aumento de infiltración de agua, porosidad y el transporte solutos. Las lombrices influyen de manera importante durante el ciclo de nutrientes en muchos ecosistemas principalmente al incrementar la mineralización del carbono en el suelo, en cuyas excretas se dan elevadas cantidades de nitrógeno orgánico asimilable por todo tipo de cultivos (Elliot *et al.* 1990).

### ***2.6.2 Respuesta de las de lombrices de tierra a los tipos manejo***

Los efectos de las perturbaciones físicas que se producen en el suelo y la manera de distribución de los residuos, la comunidad de plantas existentes, los ingresos de materia orgánica, la preparación del suelo, la secuencia de cultivos, entre otros, es la respuesta de la macrofauna de lombrices al manejo (Wardle 1995, Lavelle y Spain 2001). Por lo general, cuando un sistema natural es transformado para desarrollar actividades agrícolas, la mayor transformación se da sobre las propiedades del suelo, por tanto la abundancia, biomasa y la diversidad del ecosistema se verá afectado (Lavelle y Spain 2001).

En ese sentido, las lombrices de tierra influyen de manera significativa en los procesos de descomposición de la materia orgánica, de la estructura física del suelo, y de la capacidad de almacenar agua de manera favorable para que las variaciones en la temperatura sean menores (Brown *et al.* 2001; Gassen y Gassen, 1996). Los métodos de preparación del suelo y las diversas prácticas de manejo (fertilización, rotación, y uso de agroquímicos, etc.) son los que brindan mayor efecto en la distribución y abundancia de invertebrados (Brown *et al.* 2001). Asimismo, las comunidades de lombrices presentes en el suelo estarán fijadas por la intensidad de la transformación inducida en el ecosistema natural y sus habilidad para adaptarse bajo esas transformaciones (Brown *et al.* 2001).

La presencia y diversidad de lombrices son indicadores de la calidad y fertilidad del suelo. Ambas pueden reflejar cambios a gran escala como la perturbación a nivel físico del suelo (labranza) y la reducción de la cantidad de materia orgánica disponible (Blair *et al.* 1996).

Por lo tanto, estos organismos podrían ser usados como especies indicadoras para valorar los efectos de diversas prácticas de manejo de suelos o las presiones antropogénicas sobre la calidad del suelo (Blair *et al.* 1996). Por su participación en los diferentes niveles de la cadena alimenticia y de ciclaje de nutrientes, así como en cambios estructurales del suelo a diferente escala, el estado de lombrices puede reflejar diferentes niveles de perturbación físico-químico del suelo.

## 2.7 Poblaciones de lombrices en sistemas de suelo

Como ya se indicó antes, factores como la disponibilidad de nutrientes, condiciones ambientales y su relación con el asocio de las especies en un sistema condicionan la presencia y abundancia de poblaciones de lombrices en el medio edáfico (USDA 1999). Asimismo, el aporte de materia orgánica, la textura, profundidad, pH, precipitación, temperatura, residuo de cultivos y la predación de árboles también condicionan la presencia de las poblaciones de lombrices bajo un determinado uso del suelo (Jiménez *et al.* 2003).

Generalmente las poblaciones de lombrices están conformadas por una a seis especies. La composición de especies y el grupo de estas dependerá de la topografía, del tipo de suelo, vegetación, uso de la tierra y la biogeografía (Fragoso *et al.* 1999).

En los bosques con suelos muy ácidos y de baja calidad en desechos orgánicos, las poblaciones de lombrices son muy escasas (Jiménez *et al.* 2003). Estudios llevados a cabo en Norteamérica, han logrado describir aproximadamente 100 especies de lombrices nativas y cerca de 45 especies exóticas pertenecientes a la familia Lumbricidae de origen europeo. A nivel mundial, en agroecosistemas tropicales se han registrado 51 especies exóticas y 151 nativas. Sin embargo, el aumento en la población de lombrices se han asociado al incremento en la descomposición de la hojarasca, materia orgánica, disponibilidad de cationes, y disminución en la densidad del suelo (Jiménez *et al.* 2003).

Estudios llevados a cabo en sistemas agroforestales con café con un diseño de 10 tratamientos combinados entre árboles fijadores de nitrógeno y no fijadores, con características maderables y no maderables (*Erythrina*, *Terminalia*, *Chloroleucon eurycyclum*), diferentes niveles de fertilización y con manejo convencional y orgánico, evaluaron la abundancia, diversidad y biomasa de lombrices en la época lluviosa. Los resultados reportaron la existencia de dos especies típicas de la zona estudiada (Turrialba, Costa Rica), conocidas como *Pontoscolex corethrurus* y *Metaphire californica* (Merino 1996). Sin embargo, también se reportaron otras especies pero en menor proporción con distribución pantropical (Aquino *et al.* 2008).

Las densidades de lombrices en este estudio en los tratamientos de café a pleno sol con manejo de alto y medio convencional tuvieron los valores más bajos (78 a 115 ind/m<sup>2</sup>), mientras que en los tratamiento con árboles de *Chloroleucon eurycyclum* y *Terminalia amazonia* y manejo orgánico tuvieron valores más altos de densidad (305 a 402 ind/m<sup>2</sup>). Los promedios de biomasa de lombrices variaron; los tratamientos que presentaron valores significativamente menores fueron el tratamiento a pleno sol con alto y medio convencional (31 g/m<sup>2</sup> a 56 g/m<sup>2</sup>). Los valores más altos en biomasa (80 a 96 g/m<sup>2</sup>) se obtuvieron en los tratamientos de *Erythrina* y *Terminalia* medio orgánico. Según los resultados obtenidos, la población de lombrices se ve favorecida por el asocio del cultivo del café y las especies *Terminalia* y *Chloroleucon eurycyclum* con manejos orgánicos (Aquino *et al.* 2008).

## 2.8 Abundancia y biomasa de lombrices en el suelo

Evaluaciones a la abundancia y biomasa de lombrices en tres tipos de suelo, en los Andes Colombianos, estadísticamente se encontraron influencias significativas entre lombrices, miriápodos, hormigas, entre otros, en diferentes niveles de estratos muestreados. Diferentes experiencias en estudios similares mostraron que existen respuestas ambientales asociadas a la estructura del agroecosistema que muestran ser diferentes en comparación con las variaciones físicas, químicas y microbiológicas de cada uso de la tierra en el comportamiento de las lombrices. Por lo que, no se recomienda enfocarse en el aspecto taxonómico de grupos funcionales sino más bien ampliar temporadas de muestreo (época seca) que podrían dar a conocer una mejor relación de cada tipo de suelo con estos organismos (Pardo-Locarno *et al.* 2005).

Delgado *et al.* (2011) encontraron en sus estudios la existencia de una mayor abundancia de macrofauna de invertebrados en sistemas de usos de suelo en bosque y *C. arabica* con asociado de *M. sapientum*, similares resultados lo obtuvo el sistema asociado de *C. arabica* con *I. edulis*. Mientras que en el sistema de monocultivo con *C. arábica* los porcentajes fueron menores. Además de que los resultados en el bosque y el sistema agroforestal de *C. arabica* e *I. edulis* presentaron una mayor biomasa de hojarasca en comparación con el sistema de *C. arabica* como monocultivo, donde mostraron los niveles más bajos al evaluar la macrofauna del suelo asociado a diferentes sistemas productivos de café.

## 2.9 Los sistemas agroforestales con café y su relación con las lombrices de tierra

Van *et al* (2010), identificaron diversos factores ambientales, estrategias de gestión y características de las plantas que afectan el crecimiento, rendimiento e impacto ambiental del sistema de producción en el medio. El café es un cultivo perenne que favorece la comunidad de macrofauna de lombrices en el suelo en comparación con cultivos anuales (Aquino *et al.* 2008). Estudios realizados sobre la densidad de lombrices en sistemas agroforestales con café bajo diferentes niveles de fertilización y manejo de sombra indicaron una abundancia de entre 78 y 115 ind/m<sup>2</sup> en sistemas manejados a pleno sol con niveles de fertilización alto y medio convencional; estos valores son menores que los encontrados en sistemas manejados con sombra y niveles de fertilización convencional; en los sistemas con manejo orgánico se reportaron entre 300 a 400 ind/m<sup>2</sup> (Aquino *et al.* 2008).

Sánchez-De León *et al.* 2006 evaluaron poblaciones de lombrices sobre la producción de café en diferentes sistemas agroforestales experimentales en Turrialba, Costa Rica, considerando tres sistemas: con sombra de *Terminalia*, otro con sombra de *Erythrina* y uno

bajo sistema de café a pleno sol manejado convencional y orgánicamente; los resultados encontrados indican densidades menores de lombrices en el sistema de manejo pleno sol alto convencional (63 ind/m<sup>2</sup>) y valores superiores en sistemas con manejo a pleno sol medio convencional, *Erythrina* y *Terminalia* que alcanzaron entre 108 a 265 ind/m<sup>2</sup>. No obstante, las densidades mayores de lombrices se reportaron en los tratamientos orgánicos con la especie *Terminalia* (334 ind/m<sup>2</sup>). La producción de café en diferentes sistemas agroforestales (17.6 mg/ha) durante el primer año de evaluación, en el sistema de manejo pleno sol alto convencional fue mayor en el estudio realizado por Sánchez-De León *et al.* (2006) que en los demás tratamientos. Sin embargo, esta misma evaluación al año siguiente, indicaron que la producción de café en diferentes sistemas agroforestales se incrementó más en los tratamientos orgánicos bajo sombra de *Terminalia* (9.2 mg/ha). Lo anterior permite inferir que en los sistemas agroforestales con café manejados orgánicamente y en asocio con alguna especie de sombra, existe una relación positiva de la densidad y biomasa de lombrices sobre la producción de café orgánico, lo cual podría parecerse a los sistemas manejados convencionalmente.

### **2.9.1 Poblaciones de lombrices en pastizales**

La abundancia y biomasa de la macrofauna de lombrices puede ser perturbada por prácticas agropecuarias de diferentes intensidades y tipos de laboreo, la diversificación de cultivos y el pastoreo de ganado. La superficie del suelo puede ser afectada por un intenso pastoreo en época lluviosa, lo cual podría reducir y restringir la abundancia y biomasa de las poblaciones de lombrices pues estos organismos prefieren suelos de texturas francas, excelente aireación, alto contenido de materia orgánica y humedad adecuada (Altieri *et al.* 2005; Delgado *et al.* 2011). Las lombrices son los organismos del suelo predominantes en pastizales más importantes en la descomposición y traslado de materia orgánica así como del reciclaje total de los nutrientes (Hutchinson y King 1980; Rodríguez *et al.* 2002).

Según estudios realizados en la Amazonía peruana, se encontró que la densidad de lombrices de tierra en pasturas varía entre 654 a 1034 ind/m<sup>2</sup> y su biomasa muy alta (38,4 a 165,9 g peso fresco/m<sup>2</sup>), destacando la colonización de la lombriz peregrina *Pontoscolex corethrurus* (Pashanasi 2001). Los ecosistemas de pasturas son favorables para el desarrollo de numerosas poblaciones de lombrices, en especial de la ya mencionada *Pontoscolex corethrurus*, predominante en pasturas naturales y mejoradas reportándose biomásas de 800 a 1600 kg de peso fresco por hectárea (Lavelle y Pashanasi 1989; Pashanasi 2001).

Cabrera y Crespo (2001) encontraron una densidad de lombrices de 31 ind/m<sup>2</sup> en pastizales con un grado de intervención media debida a las actividades de pastoreo en el sistema. En el suelo, la mayor parte del flujo de energía de los sistemas de producciones es debida a la fauna y microflora existente. Muchos autores han indicado que en pasturas tropicales las lombrices de tierra son importantes elementos del sistema descomponedor,

siendo responsables de la asimilación de hasta un 15% de la producción primaria bruta anual en esos ecosistemas (Lee 1985). Además, las lombrices ayudan a mejorar la fertilidad de suelos con pastos, producir vermicompost de los residuos orgánicos que expulsan el cual es fuente de proteínas y nutrientes de alta calidad (Harstenstein 1981).

Las lombrices también influyen en las plantas sobre todo en la distribución de los nutrientes y la composición química de los suelos por la incorporación de sus propios desechos metabólicos (excremento, orina, mucus, etc.) y del tejido muerto el cual es reciclado en el ecosistema planta/suelo; de esta manera se proporcionan nutrientes para las plantas. Además las lombrices forman depósitos de materiales fecales en la superficie del suelo y en las galerías que excavan en la tierra, cuyas formaciones en los horizontes del suelo son ricos en materia orgánica. Asimismo, hay un fluido de transporte de mantillo vegetal parcialmente descompuesto, además de otros detritus orgánicos hacia las diferentes capas inferiores del suelo (Lee 1985).

### ***2.9.2 Lombrices de tierra en bosques secundarios***

Según Linares (2009) las lombrices de tierra son uno de los organismos ingenieros cuya presencia y abundancia principalmente son importantes tanto en bosques como en sistemas agroforestales de la Amazonía peruana. Por tal razón, el comportamiento de las lombrices de tierra indica el grado de intervención antrópica en estos suelos ocasionado por el continuo uso de la tierra y nivel de perturbación sobre el mismo. Los bosques secundarios pueden presentar mayores valores de densidad (103 ind/m<sup>2</sup>) y biomasa (27 g/m<sup>2</sup>) de lombrices de tierra, debido a que este uso de la tierra tiene mayor estabilidad y no requiere actividades de laboreo continuo ni pastoreo como los otros usos o sistemas de suelo (Cabrera *et al.* 2011). En los bosques secundarios la densidad poblacional de lombrices está dentro de un rango de 334 a 838 individuos/m<sup>2</sup>, y su biomasa varía entre 4,2 y 102 g peso fresco/m<sup>2</sup> (Pashanasi 2001).

Castro *et al.* (2007) afirman que bajo un terreno cubierto por un bosque secundario, la abundancia y biomasa de las lombrices de tierra es superior debido a que estos ecosistemas ofrecen un mayor alimento y condiciones favorables para que estos organismos vivan y se desarrollen en condiciones de alta temperatura y humedad proporcionadas por la sombra que hace que se generen distintos grados de descomposición del mantillo sobre el suelo.

### ***2.9.3 Lombrices en el cultivo de caña***

En los cañales las densidades bajas de lombrices (1,33 ind/m<sup>2</sup>) podría deberse a la alta perturbación provocada por las prácticas de manejo y los procedimientos agrícolas sumado a la poca o total ausencia del estrato arbóreo, lo cual podría tener consecuencias fuertes sobre las poblaciones de lombrices en este sistema (Cabrera *et al.* 2011).

## 2.10 Densidades de lombrices en diferentes épocas de muestreo

La macrofauna de lombrices generalmente se caracteriza por la forma más fácil que opera en el tiempo y el espacio con respecto a los individuos más pequeños que hay en el suelo. En ese sentido, las lombrices de tierra juegan un papel importante en los medios terrestres donde se encuentran presentes porque contribuyen a la fertilidad del suelo y facilitan el desarrollo de las plantas mejorando sus propiedades químicas, físicas y biológicas (Springett y Syers, 1984; citado por Merino, 1996).

Porras (2006) encontró entre 10,33 ind/m<sup>2</sup> a 67,22 ind/m<sup>2</sup> durante la época seca y entre 20,22 ind/m<sup>2</sup> a 81,78 ind/m<sup>2</sup> en la época lluviosa. Este estudio se realizó con el fin de estudiar la calidad de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en sistemas agroforestales con café bajo pleno sol y con manejo convencional y orgánico; el autor concluyó que el menor promedio de lombrices se encontró en los sistemas manejados convencionalmente y los mayores en los sistemas de manejo orgánicos.

Los resultados anteriores fueron casi similares a los reportados por Sánchez-De León *et al.* (2006) en sistemas agroforestales con café y sombra de *Erythrina* en Turrialba, donde se encontró aproximadamente 131 ind/m<sup>2</sup> en parcelas bajo manejo convencional y 265 ind/m<sup>2</sup> en parcelas con manejo orgánico. Sevilla *et al.* (2004) reporta, por su parte, 62 ind/m<sup>2</sup> en cafetales bajo sombra y 61 ind/m<sup>2</sup> en bosques a profundidades de muestreo entre 0–10 cm (citado por Porras 2006).

## 2.11 Relación de la materia orgánica con la abundancia y biomasa de lombrices

La relación entre materia orgánica y las lombrices de tierra tiene una influencia directa e indirecta del proceso de cascada de la descomposición de la materia orgánica muerta que pasa por una serie de transformaciones físicas y químicas en el suelo que conducen a la mineralización de una parte del recurso y al depósito de compuestos resistentes en forma de humus. Este proceso favorece la abundancia y biomasa de lombrices así como para las plantas directamente (Swift *et al.* 1979; Domínguez *et al.* 2009). Los efectos indirectos derivan de los directos e incluyen procesos de envejecimiento y mezcla de materiales modificados por las lombrices (Domínguez *et al.* 2009).

Existen claras evidencias de que las lombrices de tierra aceleran la tasa de descomposición de la materia orgánica favoreciéndose no solo a sí mismas, sino también a millones de organismos en el suelo (Atiyeh *et al.* 2000; Domínguez *et al.* 2003; Domínguez 2009). Las lombrices de tierra también influyen sobre la modificación de la biomasa microbiana y su actividad en forma directa mediante la estimulación, digestión y dispersión de los microorganismos que interactúan con otros componentes biológicos dentro de un

sistema del suelo, que en consecuencia afecta a la estructura de la materia orgánica ya que se conforma una matriz espacial y temporalmente heterogénea con características diferentes resultantes de las distintas tasas de degradación que tienen lugar durante la descomposición (Moore *et al.* 2004; Domínguez 2009).

## **2.12 Valoración comparativa de la macrofauna de lombrices en el suelo**

Una de las ventajas de los estudios de valoración comparativa es que sus resultados cuantitativos se basan en las fortalezas y debilidades de un proceso de estudio. Una segunda ventaja es que se inician con pequeños métodos y una vez que se identifican los problemas, puede ser de fácil replicación en futuros estudios y procesos de gestión (Quirós 1997; Vitez 2010). No obstante, la falta de información puede hacer que no se cumplan los objetivos establecidos en un proceso de investigación más aun tratándose de competencias generadas a través de diferentes sistemas. La valoración comparativa es un proceso continuo que debe ser planeado con frecuencia para asegurar que la información recopilada anteriormente será útil a futuras prácticas de manejo expuestas a diferentes cambios en el tiempo (Quirós 1997).

En el contexto edáfico, la evaluación formulada en este trabajo es totalmente relevante pues permite obtener resultados recientes y dar valor a la macrofauna de lombrices en diferentes sistemas agroforestales. Este análisis permite establecer la importancia de estos organismos que actúan como indicadores para determinar si un sistema es capaz de soportar diferentes condiciones de manejo. La metodología aplicada utiliza modelos estadísticos lineales para estudiar la dinámica de estos organismos en el tiempo y diferentes tipos de sistemas agroforestales donde se combinan sombras de especies y niveles de manejo de fertilización.

## **2.13 Modelos estadísticos**

Los modelos estadísticos pueden ser lineales y no lineales. Pueden ser aplicados dentro del contexto deductivo de una investigación cualquiera basándose en la variabilidad de un fenómeno particular para comprender los diferentes rangos de dicha variabilidad. Dentro del modelo estadístico clásico se encuentra la regresión múltiple que trata principalmente de un conjunto de variables cuantitativas (Sanders 2004). McCullagh y Nelder (1989) indican que los modelos lineales generalizados y mixtos son sinónimos de modelos de regresión utilizados para diferentes tipos de respuesta. Ellos se construyen mediante definiciones de un predictor lineal que especifica la relación funcional o de enlace entre la expectativa de la respuesta y el predictor que incluye efectos fijos y aleatorios en el predictor lineal. Normalmente la estructura de estos modelos tiene una dependencia de los datos agrupados al modelar la introducción de un intercepto aleatorio en el predictor lineal (Goldstein 1995; McCulloch y Searle 2001).



### 3 LITERATURA CITADA

- Atiyeh, R; Dominguez, J; Subler, S; Edwards, C. 2000. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms and the effects on seedling growth. *Pedobiologia* 44:709-724.
- Altieri, N; Zerbino, A; Morón, A. 2005. Biodiversidad del suelo bajo diferentes sistemas de producción. XXI Reuniao do Grupo Técnico em Forrageiras do Cone Sul Grupo Campos. Desafíos e oportunidaes do Bioma Campos frente a Expansao e Intensificacao Agrícola.
- 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.
- Aira, M, Sampedro, L, Monroy, F, Domínguez, J. 2008. Detritivorous earthworms directly modify the structure, thus altering the functioning of a microdecomposer food web. *Soil Biology and Biochemistry* 40:2511-2516.
- Barois, I; Verdier, B; Kaiser, P; Mariotti, A; Rangel, P; Lavelle, P. 1987. Influence of the tropical earthworm *Pontoscoles corethrurus* (Glossoscolecidae) on the fixation and mineralization of nitrogen. En: Bonvicini Pagliai AM; Omodeo P. eds. On earthworms: selected symposia and monographs. Modena, Italia 151- 158 p.
- Beer, J; Clarkin, K; De Las Salas, G y Glover, N. 1979. A case study of traditional agroforestry practices in a wet tropical zone: the “La Suiza” Project. Simposio Internacional sobre las Ciencias Forestales y su Contribución al Desarrollo de la América Tropical. CONICIT-INTERCIENCIA-SCITEC. San José, Costa Rica. 28 p.
- Budowski, G. 1980. Compilación de ventajas de sistemas agroforestales (presencia de árboles en cultivos alimenticios o en pastos) en comparación con monocultivos. CATIE, Programa de Recursos Naturales Renovables, Turrialba, Costa Rica. 2p.
- BUNCA (Red de Biomasa, Oficina Regional para Centroamérica).1999. Manual práctico para la fabricación de abono orgánico utilizando lombrices. 39 p.
- Beer, J; Harvey C; Harmand J; Somarriba E. y Jimenez F. 2003. Servicios Ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*. no. 37-38:80-87.
- Blair, J; Bohlen, P; Freckman, D. 1996. Soil invertebrates as indicators of soil quality. *In: Methods for assessing soil quality*. Madison, WI. USA. Soil Science Society of America. 273-291 p.

- Brown, G; Fragoso, C; Barois, I; Rojas, P; Patrón, J; Bueno, J; Moreno, A; Lavelle, P; Ordáz, V y Rodríguez, C. 2001. Diversidad funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zool. Mex.* 1: 79-110
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1999. Abarema idiopoda (Blake) Barneby & Grimes, Turrialba, CR. Leguminosae No. 313. 2p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2001. Módulos de enseñanza agroforestal. Turrialba, C.R.
- Cabrera, G y Crespo, G. 2001. Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. *Revista cubana de ciencia agrícola.* Tomo 35, No. 1 p. 3-4.
- 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.
- 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.
- Cubero, D; Vieira, M. 1999. Abonos orgánicos y fertilizantes químicos son compatibles con la agricultura? XI congreso Nacional Agronómico/ III Congreso Nacional de suelos 1999. Conferencia 70: 61-67.
- Delgado, G; Burbano, A; Silva, A. 2011. 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.
- Domínguez, J; Parmelee, R; Edwards, C.2003. Interactions between *Eisenia andrei* and nematode populations during vermicomposting. *Pedobiologia* 47:53-60.
- Donald, P. 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conserv Biol*, 18:17–37.
- 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.
- Edward, C; Lofty, J.1982. The effect of direct drilling and minimal cultivation on earthworm populations. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, v. 19, p. 723 - 734.

- Elliot, P.; Knight, E; Anderson, J. 1990. Denitrification in earthworm cast and soil from pasture under different fertilizer and drainage regimes. *Soil Biology and Biochemistry*. 22: 601-605.
- Edwards, C, Bohlen, P. 1996. *Biology and ecology of earthworms*. Chapman and Hall, London. 426 p.
- FAO. 2008. The state of food and agriculture. Agriculture Series No. 38. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- 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.
- Fournier, L. 1981. “Análisis y comentario”. Importancia de los sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agronom. Costarr.* 5(1/2): 141-147.
- Gándara, F; Melo, C; Grimaldi, M; Oliveira, G; Santilli, C; Marchiori, L. 2007. Análise comparativa da macrofauna do solo de um sistema agroflorestal e um agrícola convencional em Piracicaba – SP. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.2. Gassen, D; Gassen, F. 1996. Plantio direto o caminho do futuro. Passo Fundo, Aldeia Sul. 207 p.
- Goldstein, H. 1995. *Multilevel Statistical Models*. London: Arnold.
- Gonzales, A. 1998. Diagnóstico de la Competitividad de la Industria del Café en Costa Rica. Disponible en: <http://www.incae.edu/es/clacds/publicaciones/pdf/cen550.pdf>. Consultado el 10.05.13.
- Harstenstein, R. 1981. Production of earthworms as a potentially economical source of protein. *Biotechnology and Bioengineering* 23(8). 2797-1811.
- Hart, S y Binkley, D. 1985. Correlation among indices of forest soil nutrient availability in fertilized and unfertilized loblolly pine plantations. *Plant and Soil* 85:11-21.
- Haggar, J; Barrios, M; Bolaños, M; Merlo, M; Moraga, P; Munguia, R; Ponce, A; Romero, S; Soto, G; Staver, C; Virginio, E. 2011. Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central América. *Agroforest Syst* (2011) 82:285–301.

- Häger, A. 2012. The effects of management and plant diversity on carbon storage in coffee agroforestry systems in Costa Rica. *Agroforest Syst* (2012) 86:159–174.
- Hoogerkamp, M; Rogaar, H; Eijsackers, H. 1983. Effect of earthworms on grassland in recently reclaimed polder soils in the Netherlands. En: Satchell JE, ed. *Earthworm*.
- Hutchinson, K; King, K. 1980. The effect of sheep stocking level on invertebrate abundance, biomass and energy utilization in a temperate, sown grassland. *J. Appl. Ecol.* 17:369.
- Ibáñez, J. 2011. Lombrices de Tierra: Generalidades y mitos. Disponible en línea en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/06/14/138367>. Consultado el 05.09.12.
- ICAFE. 2012. Disponible en [http://www.icafe.go.cr/nuestro\\_cafe/historia.html](http://www.icafe.go.cr/nuestro_cafe/historia.html), consultado el 28.12.12.
- 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=H\\_13UpnpAszJsQTU3YCoBA&ved=0CD4Q6AEwAg#v=onepage&q=Jimenez%20y%20thomas&f=false](http://books.google.com.pe/books?id=y5Pb2xaYtVoC&pg=PR3&dq=Jimenez+y+thomas&hl=es&sa=X&ei=H_13UpnpAszJsQTU3YCoBA&ved=0CD4Q6AEwAg#v=onepage&q=Jimenez%20y%20thomas&f=false). Consultado el 20.03.13.
- Jiménez, J; Cepeda, A; Decaëns, T; Oberson, A y Friesen, D. 2003. Phosphorus fractions and dynamics in surface earthworm casts under native and improved grasslands in a Colombian savanna *Oxisol*. *Soil. Biol.Biochem.* 35: 715-727.
- Jones, C; Lawton, J y Shachak M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.
- 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 p.
- Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystems function. *Adv Ecol Res*, 27: 93-132.
- Lavelle, P; Spain, A. 2001. *Soil ecology*. Holanda, Kluwer Academic Publishers.

- Lavelle, P; Senapati, B; Barros, E. 2003. Soil macrofauna. In: Trees, crops and soil fertility. Concepts and research methods. (Eds. G. Schroth and F.L.Sinclair). CABI Publishing. UK. p. 303-323.
- Lee, K. 1985. Earthworms their ecology and relationships with soils and land use. Canberra: Academic. 411 p.
- Linden, D; Hendrix, P; Coleman, D; Van Vilet, P. 1994. Faunal indicators of soil quality. In Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable Environment. SSSA. Special Publication no. 35. 91-106 p.
- Linares, D; Pashanasi, B; Lavelle, P. 2009. Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en el Parque Nacional Tingo María, Huánuco, Perú. Disponible en línea: [http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadeso/pdf/resumos/Poster\\_DaliaL.pdf](http://www.iamazonica.org.br/conteudo/eventos/biodiversidadeso/pdf/resumos/Poster_DaliaL.pdf). Consultado el 21.05.13.
- Merino, J. 1996. Las lombrices de tierra en Costa Rica. Importancia Agroecológica. En: Congreso Nacional Agronómico, 81-87 p.
- Mendieta, M y Rocha, L. 2007. Sistemas agroforestales. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 115 p.
- 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.
- 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.
- Monge, L. 1999. Manejo de la nutriión y fertilización del cultivo del café orgánico en Costa Rica. XI Congreso Nacional Agronomico / III Congreso Nacional de Suelos. 175-191 p.
- Moore, J; Berlow, E; Coleman, D; De Ruiter, P; Dong, Q; Johnson, N; McCann, K; Melville, K; Morin, P; Nadelhoffer, K; Rosemond, A; Post, D; Sabo, J; Scow, K; Vanni, M; Wall, D. 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. Ecology Letters 7:584-600.
- McCullagh, P and Nelder, A. 1989. *Generalized Linear Models*. 2d ed. London: Chapman and Hall.

- McCulloch, C and Searle, A. 2001. *Generalized, Linear and Mixed Models*. New York: John Wiley & Sons.
- Paoletti, C; Sommaggio, D; Favretto, M; Petruzzelli, G; Pezzarossa, B; Barbaferri, M. 1998. Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. *Applied Soil Ecology* 10:137-150.
- 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).
- Pardo-Locarno, L; Vélez, C; Sevilla, F; Madrid, O. 2005. Abundancia y biomasa de macroinvertebrados edáficos en la temporada lluviosa, en tres usos de la tierra, en los Andes colombianos. Disponible en línea: [http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/194/465](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/194/465). Consultado el 20.03.13.
- Payan, F; Davey L; Jones, E; Beer, J; Harmand, J. 2009. Soil characteristics below *Erythrina poeppigiana* in organic and conventional Costa Rican coffee plantations. *Agroforest Syst* (2009). 76:81–93.
- 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.
- Porras, C. 2006. Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional sobre las características de suelos en el Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 150 p.
- Quirós, G. 1997. Una valoración comparativa del mercado español de deuda pública. Banco de España - Servicio de Estudios. Documento de Trabajo nº 9703. 41 p.
- 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 ceba de toros. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 36(2); 181-186.
- Romero, S. 2006. Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* var. Caturra), con tres niveles de manejo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE, 110 p.
- Satchell, J.E. 1983. Earthworm ecology from Darwin to vermiculture. (Satchell, J.E. Ed.). Chapman y Hall LTD. 485 p.

- Sanders 2004. Modelos estadísticos. Disponible en: <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article169>, consultado el 20.05.13.
- Sánchez, P; Palm, C. A. 2006. Reciclaje de nutrientes y agrosilvicultura en África. Disponible en [www.fao.org](http://www.fao.org). Consultado el 20. 07.13.
- 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.
- Salgado, J. 2010. Fijación de carbono en biomasa aérea y rentabilidad financiera de sistemas agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica y Masatepe, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 110 p.
- Sevilla, F; Oberthür, T; Barrios, E; Escobar, G; Madrid, O. 2004. Distribución y abundancia de la macrofauna asociada con unidades locales de clasificación de suelos en la microcuenca de Potrerillo, Cauca, Colombia. *In* 1 taller nacional sobre indicadores de calidad de suelos. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Palmira 20–22 de octubre de 2004.
- Somarriba, E; Harvey, C; Samper, F; Gonzalez, J; Staver, C; Rice, R. 2004. Biodiversity Conservation in Neotropical Coffee (*Coffea arabica*) Plantations. *In* *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. 198-226 p.
- Scullion J y Malik A 2000. Earthworm effects on aggregate stability, organic matter composition and disposition, and their relationships. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 119-126.
- Springett, J y Syers, J. 1984. Earthworms and soil fertility. *Plant and Soil* 76 (1-3): 93-104.
- Swift, M; Heal, O; Anderson, J. 1979. Decomposition in terrestrial Ecosystems. En: *Studies in Ecology*. N° 5. Berkeley: University of California Press.
- USDA. United States Department of Agriculture. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Traducido por: Lutens, A; Salazar Lea P; JC. CRN-CNIA-INTA, Argentina. 2000. 82 p
- Vázquez, L. 2006. Tendencias y percepciones acerca del manejo de plagas en la producción agraria sostenible. XV Congreso Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). 27 p.
- Vázquez, L. 2006. Tendencias y percepciones acerca del manejo de plagas en la producción agraria sostenible. XV Congreso Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). San José de Las Lajas, La Habana, Cuba. 27 p.

- Van, M; Jean Dauzat, O; Jean-Michel, H; Lawson, G; Vaast, P. 2010. Coffee agroforestry systems in Central America: I. A review of quantitative information on physiological and ecological processes. *Agroforest Syst* (2010) 80:341–359.
- Vitez, O. 2010. Qué es la evaluación comparativa en los análisis de los resultados financieros?. Disponible en línea: [http://www.ehowenespanol.com/evaluacion-comparativa-analisis-resultados-financieros-sobre\\_45310/](http://www.ehowenespanol.com/evaluacion-comparativa-analisis-resultados-financieros-sobre_45310/). Consultado: 10.08.13.
- Wardle, D. 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. *Advances in Ecological Research* 26. 105-185.
- Young, A. 1999. *Agroforestry for soil management*. 2ed. Wallingford, UK. CAB International – ICRAF. 276 p.



## **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 SAF<sup>1</sup>. 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*

| <b>Tipos de sombra</b>            | <b>1.</b><br><i>Erythrina poeppigiana</i><br>“Poró” | <b>2.</b><br><i>(Terminalia amazonia)</i><br>“Terminalia” | <b>3.</b><br><i>(Chloroleucon eurycyclum)</i><br>“Cashá” | <b>4.</b><br><i>(Pleno sol)</i><br>“PS” |
|-----------------------------------|---|---|--|---|
| <b>Tipo de manejos de insumos</b> | 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)

<sup>1</sup> 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   |
|--------------------------------|--|---|---|--------------------------------|--|
| <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 T 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   |

\*\*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*

| <b>Tipos de sombra</b>       | <i>E. poeppigiana</i> | <i>T. amazonia</i> | <i>C. eurycyclum</i> | <b>Pleno sol</b> |
|------------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|------------------|
| 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/m<sup>2</sup>, 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/m<sup>2</sup>, 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/m<sup>2</sup>. Los tratamientos (C-MO, T-MO) mostraron la mayor densidad promedio (305 y 402 ind/ m<sup>2</sup>, 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 <sup>2</sup> |   |   |
|--------------|-----------------------|---|---|
| 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/m<sup>2</sup>), *Terminalia* con alto convencional (43 g/m<sup>2</sup>), *Chloroleucon* medio convencional (46 g/m<sup>2</sup>), *Terminalia* medio convencional (51 g/m<sup>2</sup>), *Erythrina* alto convencional (54 g/m<sup>2</sup>), pleno sol con alto convencional (56 g/m<sup>2</sup>). Estos resultados son significativamente diferentes a los tratamientos *Erythrina* medio convencional (63 g/m<sup>2</sup>), *Erythrina* orgánico intensivo (81 g/m<sup>2</sup>), *Terminalia* (93 g/m<sup>2</sup>) y *Chloroleucon* orgánico intensivo (96 g/m<sup>2</sup>) 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/ind<sup>2</sup>, 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 <sup>2</sup> |   |   |
|--------------|------------------|---|---|
| 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.

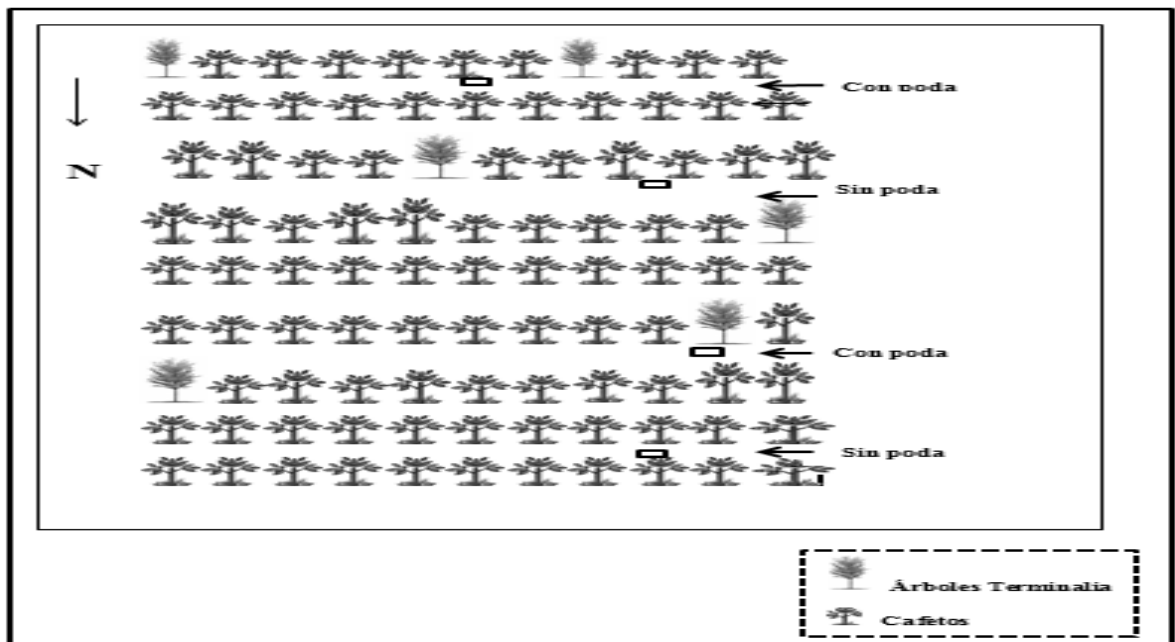


Figura 1. Simulación de área efectiva de muestreo y los criterios tomados dentro del sistema agroforestal con café con la especie *Terminalia amazonia*. Finca experimental del CATIE, Turrialba, Costa Rica

Las variables consideradas para el estudio fueron la abundancia (número de individuos/m<sup>2</sup>) y la biomasa de lombrices (g/m<sup>2</sup>); 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/m<sup>2</sup>) (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/m<sup>2</sup>) 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/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup>, diferente a lo reportado por Aquino *et al.* (2008), que encontró 115,20 ind/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup>) 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/m<sup>2</sup>). Estos resultados fueron muy similares a los encontrados por Aquino *et al.* 2008 con *Erythrina* orgánico intensivo (156 ind/m<sup>2</sup>) 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/m<sup>2</sup>. Este resultado, comparado con el obtenido por el presente estudio (115 ind/m<sup>2</sup>) 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/m<sup>2</sup>). 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/m<sup>2</sup>; este resultado fue diferente al encontrado por Aquino *et al.* (2008) (151,47 ind/m<sup>2</sup>). 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/m<sup>2</sup> respectivamente para el año 2012; este resultado fue diferente al reportado por Aquino *et al.* (2008), quienes obtuvieron medias entre 161 a 305 ind/m<sup>2</sup>. 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/m<sup>2</sup>, muy inferior a la presentada por Aquino *et al.* 2008 (402 ind/m<sup>2</sup>) 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/m<sup>2</sup>) 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/m<sup>2</sup> y 188,49 ind/m<sup>2</sup>) en comparación con los tratamientos (PS+ AC; y T+MO) que alcanzaron medias de abundancia por metro cuadrado entre 84,94 ind/m<sup>2</sup> y 115,38 ind/m<sup>2</sup>, 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/m<sup>2</sup>). 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/cm<sup>2</sup>, 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/m<sup>2</sup> y 85,97 g/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> 7 años después.

El tratamiento *Terminalia* con manejo orgánico intensivo solo obtuvo una biomasa de 49,61 g/m<sup>2</sup>. Esta cantidad de biomasa es mucho menor que la reportada por Aquino *et al.* (2008) (93,48 g/m<sup>2</sup>). El tratamiento *Erythrina* con manejo orgánico intensivo obtuvo una biomasa de lombrices de 85,31 g/m<sup>2</sup>, 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/m<sup>2</sup>) y E+MC (72,13 g/m<sup>2</sup>), fueron menores en biomasa de lombrices comparados con los niveles orgánico. Por otra parte, los tratamientos con C+MO (69 g/m<sup>2</sup>) y C+MC (51,58 g/m<sup>2</sup>) fueron menores a los tratamientos mencionados anteriormente. Los tratamientos a pleno sol con el nivel medio convencional reportó una biomasa de 73,14 g/m<sup>2</sup>, resultado mayor al del tratamiento a pleno sol con nivel alto convencional (24,77 g/m<sup>2</sup>) siendo este el valor más bajo obtenido.

Cuadro 9. Medias ajustadas y errores estándares para la biomasa de lombrices (ind/m<sup>2</sup>) 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/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup>. No obstante, en el 2012 se reportó una media de 73 g/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup>. 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.

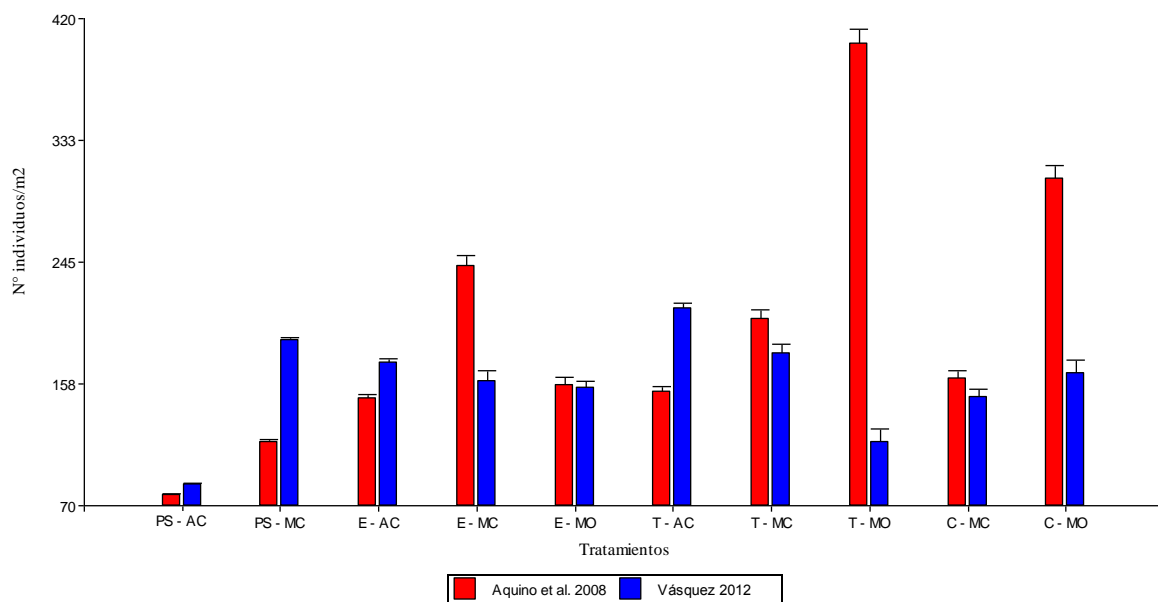


Figura 2. Resultados sobre abundancia de lombrices en sistemas agroforestales con café según los resultados de Aquino *et al.* (2008) y los reportados por este estudio. Finca comercial CATIE, Turrialba, Costa Rica

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/m<sup>2</sup>, 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.

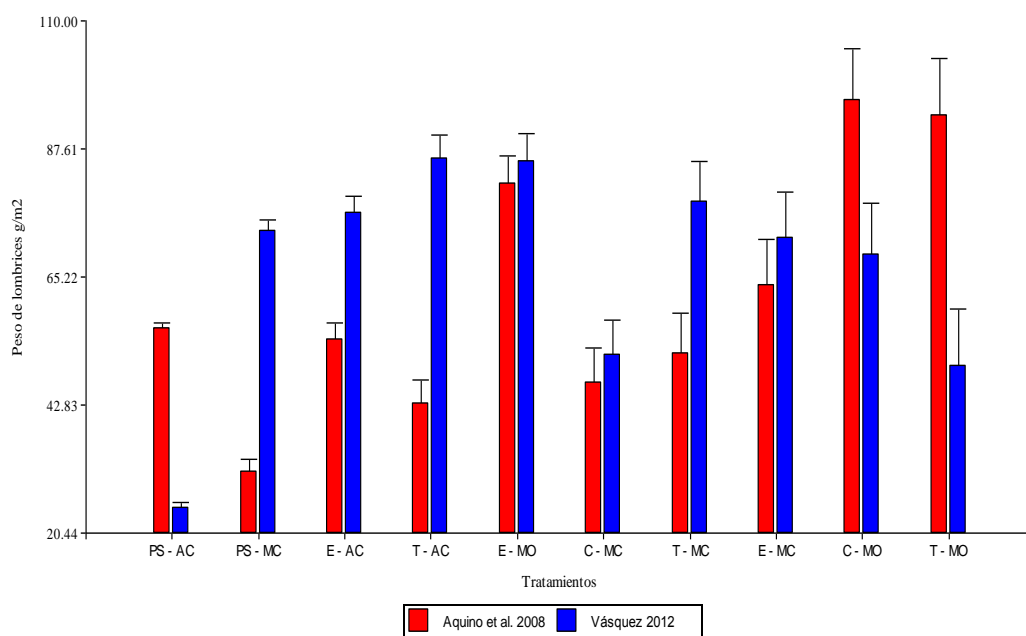


Figura 3. Resultados de biomasa de lombrices en sistemas agroforestales con café según los resultados de Aquino *et al* (2008) y los reportados por este estudio. Finca comercial CATIE, Turrialba, Costa Rica

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.

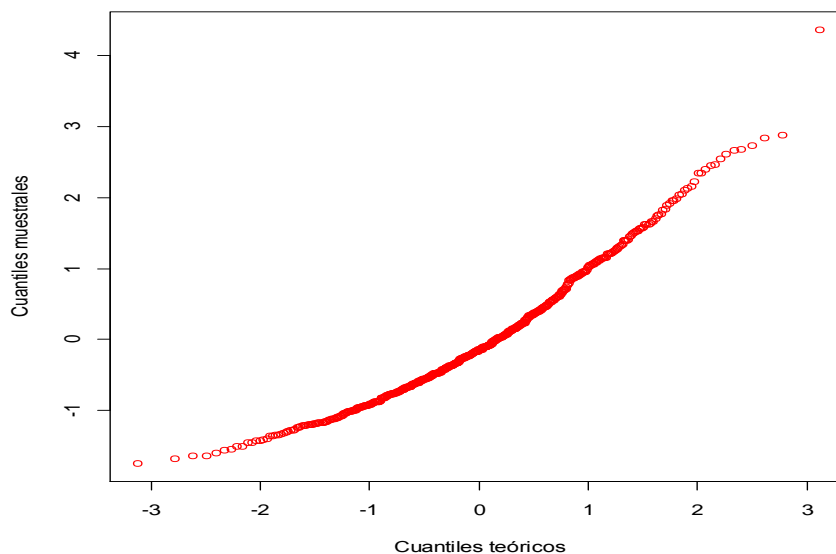
*Cuadro 10. Modelo lineal general y mixto. Tabla de Análisis de Varianza mostrando las pruebas de hipótesis marginal*

|                          | 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  |

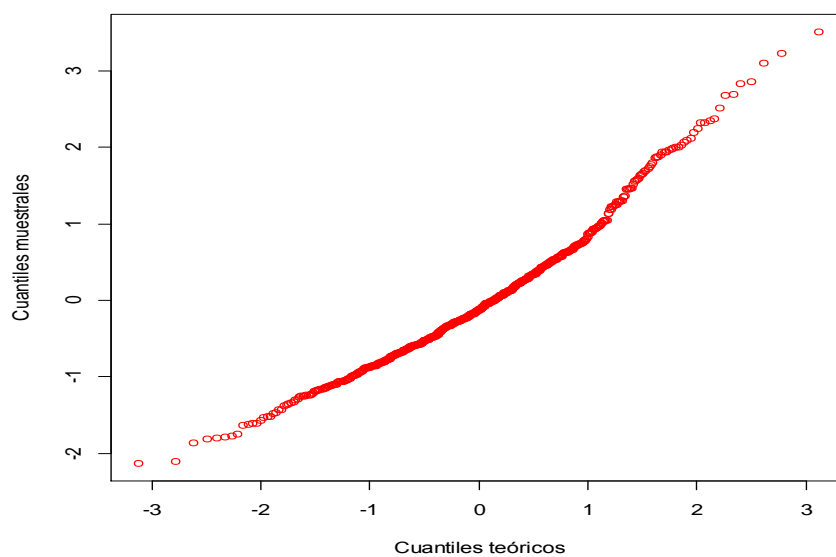
Los resultados obtenidos demostraron la importancia de las especies arbóreas y el manejo intensivo de insumos sobre la abundancia y la biomasa de lombrices en sistemas agroforestales con café, ya que ellos crean un microclima diferenciado sobre estos agroecosistemas. El microclima es importante no sólo 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/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> 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*

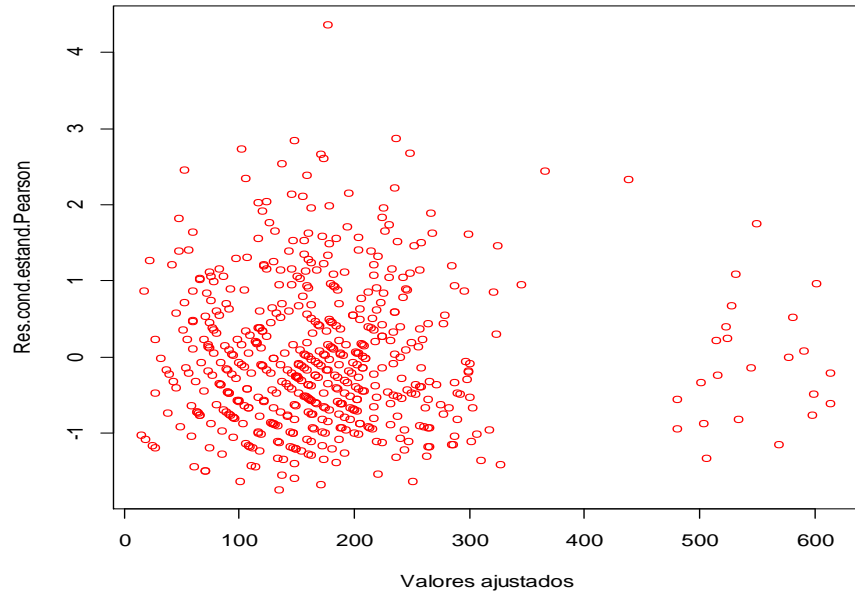


Figura 6. Prueba de homogeneidad de varianzas en abundancia

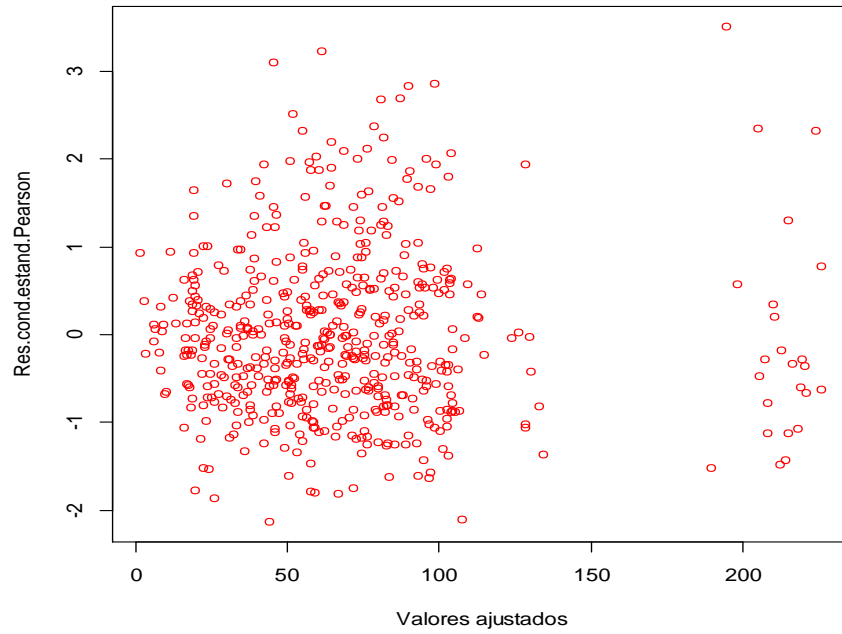


Figura 7. Prueba de homogeneidad de varianzas en biomasa

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<sup>x</sup>código\_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<sup>x</sup>código\_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.

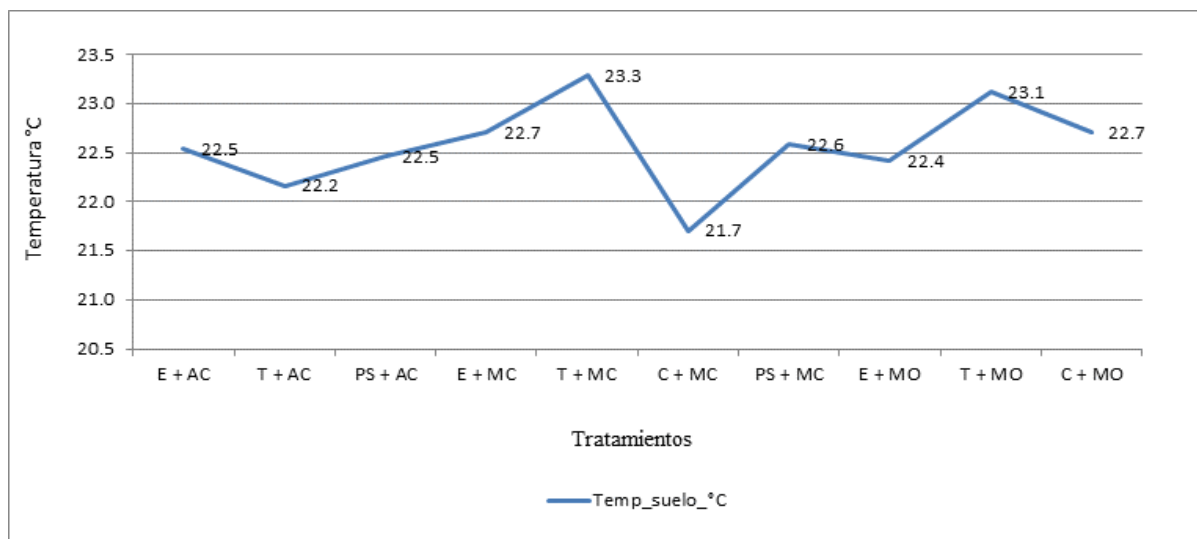


Figura 8. Temperatura del suelo de los diferentes sistemas agroforestales con café durante el periodo lluvioso del 2012. Finca comercial CATIE, Turrialba, Costa Rica

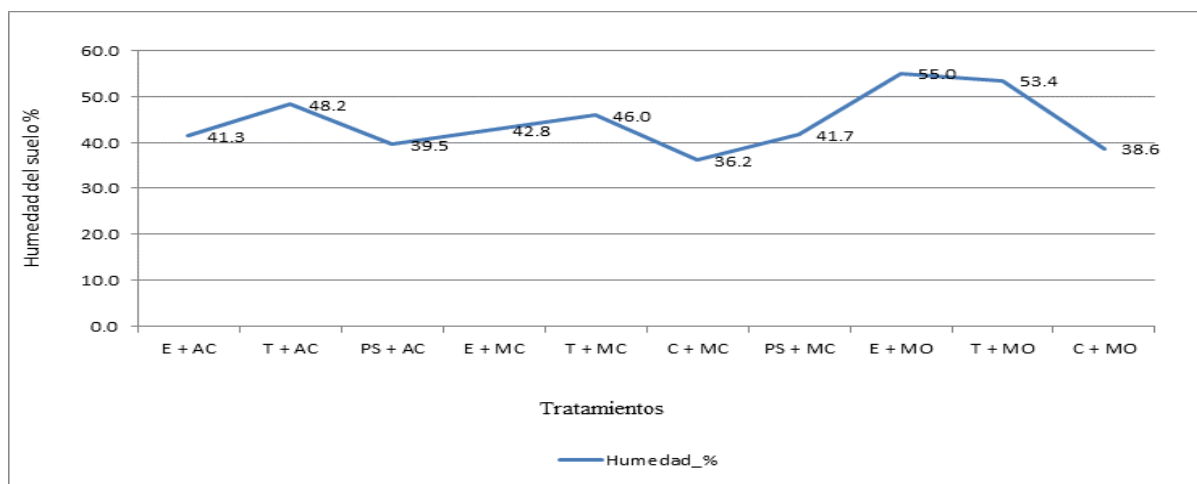


Figura 9. Resultados en humedad del suelo de los diferentes sistemas agroforestales con café durante el periodo lluvioso del 2012. Finca comercial CATIE, Turrialba, Costa Rica

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 menció 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/m<sup>2</sup>) y sin diferencias significativas con el alto convencional a pleno sol, present6 el segundo la abundancia de lombrices m6s alta (188,49 ind/m<sup>2</sup>) 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/m<sup>2</sup> 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/ m<sup>2</sup>.

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/m<sup>2</sup> (Aquino et al, 2008) y en el 2012 211,86 ind/m<sup>2</sup>. El SAF *Terminalia* con manejo moderado convencional (MC) tuvo en el 2005 una abundancia de 203,73 ind/m<sup>2</sup> (Aquino et al, 2008), mientras que en el 2012 se encontraron en promedio 179,3 ind/m<sup>2</sup>.
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/m<sup>2</sup> (Aquino et al, 2008), mientras que en el 2012 presentó un incremento moderado alcanzando 172,48 ind/m<sup>2</sup>. 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/m<sup>2</sup> (Aquino et al, 2008), y en el 2012 de 154,49 ind/m<sup>2</sup>. 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/m<sup>2</sup> (Aquino et al, 2008) y para el 2012 de 159,22 ind/m<sup>2</sup>.
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/m<sup>2</sup> (Aquino et al, 2008), y siete años después 147,59 ind/m<sup>2</sup>. En el SAF *Chloroleucon* con manejo orgánico intensivo presentó una disminución drástica de la abundancia durante el periodo estudiado pasando de 305,07 ind/m<sup>2</sup> en el 2005 (Aquino et al, 2008) a 165,19 ind/m<sup>2</sup> 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 asociado 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 Ecosystemas 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.

## **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.

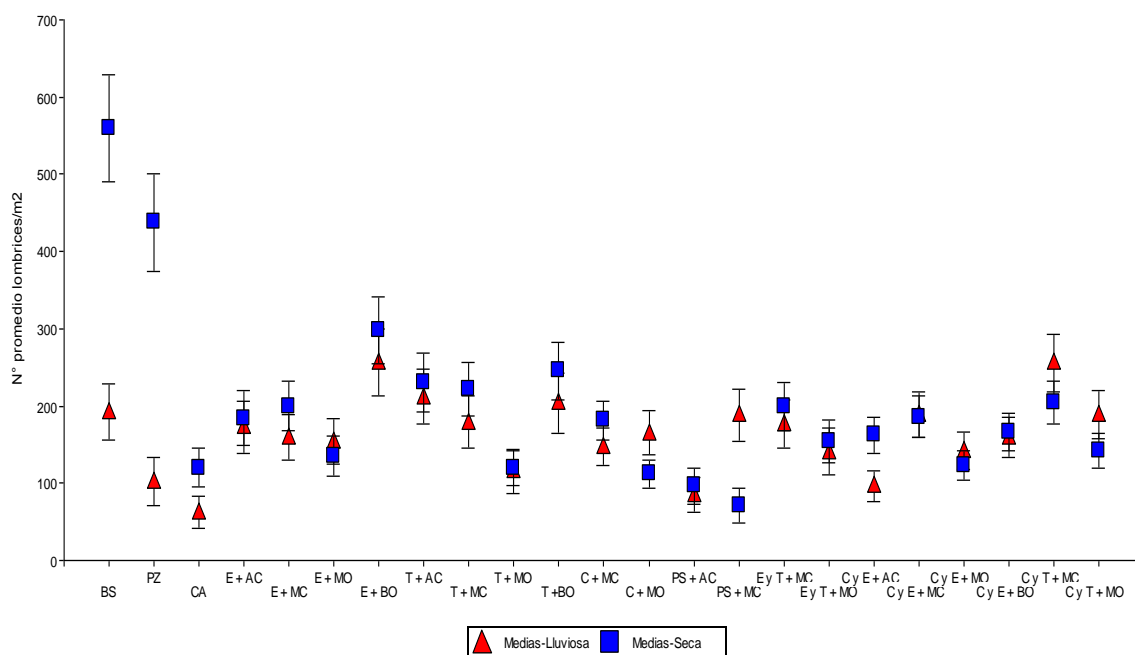


Figura 10. Medias de la abundancia de lombrices por metro cuadrado de los tratamientos estudiados en épocas lluviosa y seca. Finca Experimental del CATIE, Turrialba, Costa Rica

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.

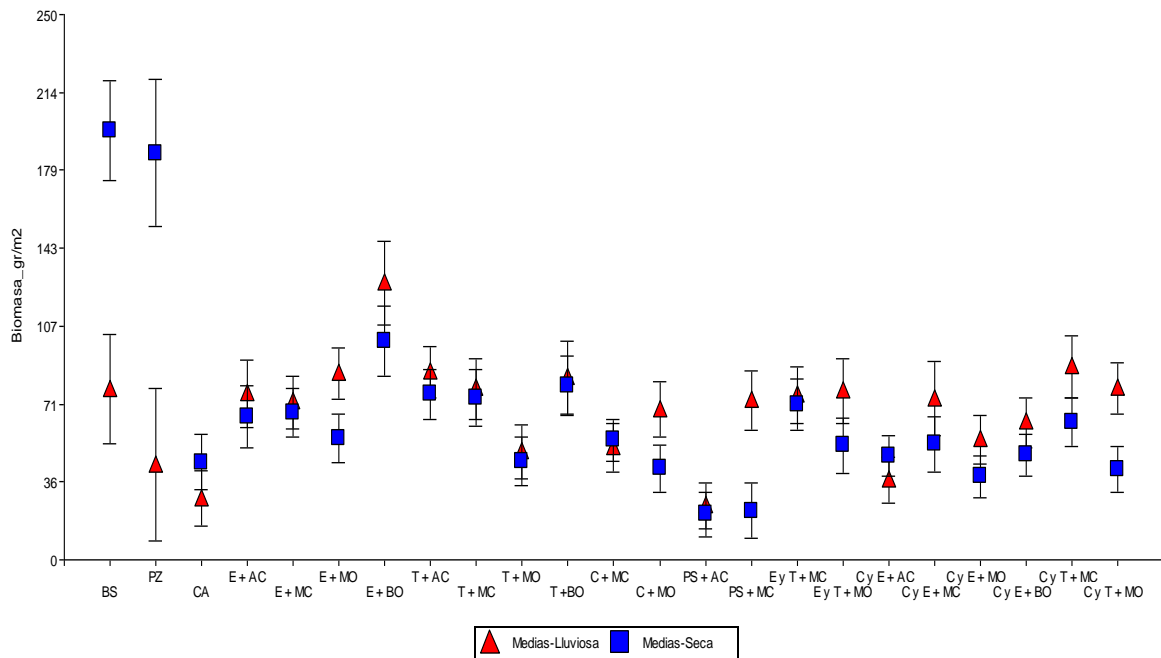


Figura 11. Medias de la biomasa de lombrices por metro cuadrado de los tratamientos estudiados en las épocas lluviosa y seca. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica

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; Fragoso, 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 (*Chloroleuconeurycyclum*) 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 ceba 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; Denef, 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.

## **6 CONCLUSIONES GENERALES**

1. La dinámica de lombrices en el tiempo juega un papel importante ya que la densidad y biomasa obtenidas mostraron cambios en su comportamiento en los diferentes sistemas de SAF, bosque secundario, cañal y pastizal entre las épocas seca y lluviosa.
2. La dinámica de lombrices inicialmente (5 primeros años) fue favorecida por los tratamientos orgánico intensivos, 12 años después en la misma época de evaluación el comportamiento de la abundancia de lombrices fue favorecida por los tratamientos convencionales. Aunque significativamente no hubo mayores cambios.

3. La variable abundancia mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, la época de muestreo y las covariables temperatura, humedad, lo cual quiere decir que estos factores estarían influenciando la dinámica de las lombrices en sistemas agroforestales con café. Sin embargo, la biomasa no presentó diferencias con relación a la materia orgánica en las diferentes épocas de muestreo.
4. El tratamiento *Terminalia* alto convencional presentó la mayor abundancia de lombrices al comparar los valores obtenidos por Aquino et al. 2008 con los de este estudio; los valores más altos de abundancia y biomasa de lombrices lo alcanzaron los tratamientos pastizal y bosque secundario (entre 400 a 550 ind/m<sup>2</sup> y 186 y 196 g/m<sup>2</sup>) durante la época seca.
5. Café asociado con *Erythrina* BO (manejo bajo orgánico) en las épocas lluviosa y seca también mostraron una densidad alta comparada al resto de tratamientos de SAF.

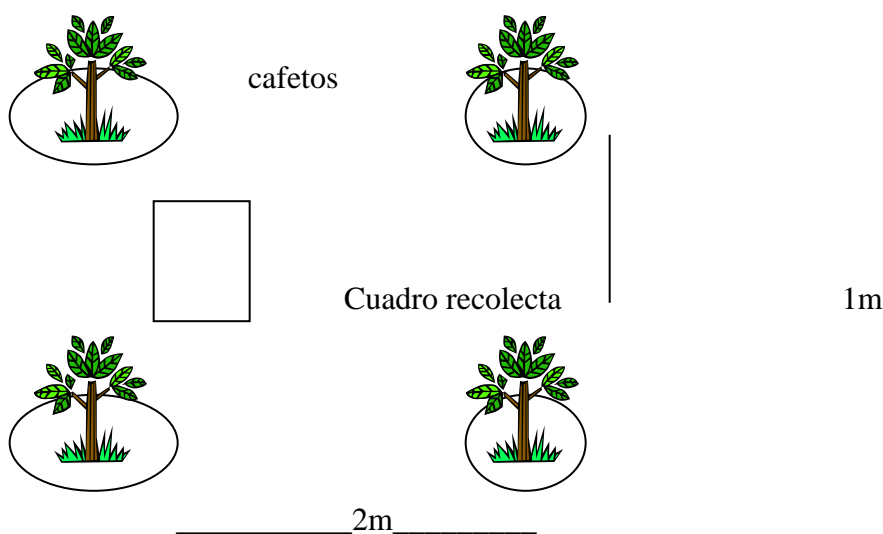


## **ANEXOS**

Anexo 1. Estudio de lombrices en ensayo SAF's con café – CATIE comparado con otros usos en finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica

Metodología de muestreo destructivo

- **Sistemas estudiados (total 23)** – En el ensayo de sistemas (18 sistemas agroforestales, dos a pleno sol, con tres repeticiones para un total de 60 parcelas), un testigo cañal, un testigo pasto y un testigo bosque. Cada testigo tiene tres repeticiones constituyendo 9 parcelas. El estudio se realizó en 69 parcelas totales.
- **Diseño experimental**- tratamientos y sub-tratamientos dispuestos en tres repeticiones con arreglo factorial incompleto completamente al azar.
- **Variables** – biomasa fresca (peso en gr), número lombrices por m<sup>2</sup>, humedad, temperatura del suelo en ° C, porcentaje de cobertura del dosel ocupado por la copa de los árboles.
- **Total de muestras – 276** muestras totales, 4 por cada sub-tratamientos (69= 60 ensayo + 3 cañal + 3 pastos+ 3 bosques). La ubicación de cada uno de los cuatro puntos fueron sorteados al azar dentro de la parcela (área útil de estudio según croquis). Luego se registró en el croquis donde quedaron los cuatro puntos. Se muestreó entre el carril y la calle (ver croquis de cada sub-parcela). La ubicación del punto de muestreo, luego del sorteo del lugar exacto, está ilustrado en el siguiente dibujo.



El cuadro de recolecta debe quedar ubicado a la mitad de la distancia entre una planta de café y otra, pero alejado de la línea de los troncos a unos 30 cm.

- **Colecta y mediciones lombrices** - Antes de tomar la muestra en cada punto se midió la temperatura y humedad del suelo del local. Luego cada muestra de las 4 por parcela debió ser tomada de un área 25 x 25 cm y 10 cm de profundidad. Se procedió a hacer la recolecta de lombrices, para ser lavadas, contadas, pesadas y luego ser devueltas al suelo.

Anexo 2. Formato para la toma de datos de lombrices en los diferentes sistemas de uso del suelo. Finca experimental CATIE, Turrialba, Costa Rica

| FORMATO. MONITOREO DE LOMBRICES              |        |                      |   |    |         |  |            |           |                |                            |             |               |
|--|--------|----------------------|---|----|---------|--|------------|-----------|----------------|----------------------------|-------------|---------------|
| Responsable: Ana Lucía Milagros Vásquez Vela |        |                      |   |    |         | Lugar: Estación Experimental de CATIE - 2013 |            |           |                |                            |             |               |
| Fecha  | Bloque | Trat/Sub-tratamiento | Situación de cobertura en el suelo (Con/Sin poda) | MO | Nº MATA | LADO   | Nº Muestra | Nº indiv. | Peso total (g) | Temperatura del suelo (°C) | Humedad (%) | Observaciones |
|  |        |                      |   |    |         |  | 1          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 2          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 3          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 4          |           |                |                            |             |               |
| <b>Total</b>                                 |        |                      |   |    |         |  |            |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 1          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 2          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 3          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 4          |           |                |                            |             |               |
| <b>Total</b>                                 |        |                      |   |    |         |  |            |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 1          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 2          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 3          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 4          |           |                |                            |             |               |
| <b>Total</b>                                 |        |                      |   |    |         |  |            |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 1          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 2          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 3          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 4          |           |                |                            |             |               |
| <b>Total</b>                                 |        |                      |   |    |         |  |            |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 1          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 2          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 3          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 4          |           |                |                            |             |               |
| <b>Total</b>                                 |        |                      |   |    |         |  |            |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 1          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 2          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 3          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 4          |           |                |                            |             |               |
| <b>Total</b>                                 |        |                      |   |    |         |  |            |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 1          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 2          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 3          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 4          |           |                |                            |             |               |
| <b>Total</b>                                 |        |                      |   |    |         |  |            |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 1          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 2          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 3          |           |                |                            |             |               |
|  |        |                      |   |    |         |  | 4          |           |                |                            |             |               |
| <b>Total</b>                                 |        |                      |   |    |         |  |            |           |                |                            |             |               |

\* Categoría de MO

0 = Sin nada de materia orgánica

1 = Poca materia orgánica

2 = Mucha Materia orgánica