

**ESTUDIO DE MESOFAUNA Y MACROFAUNA EN PARCELAS FERTILIZADAS
Y NO FERTILIZADAS EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus grandis* EN LA
MESETA DE POPAYÁN CAUCA Y RESTREPO VALLE DEL CAUCA**



**ZAIRA WUASBLEDY ORTIZ COLLAZOS
ANJY JENITH RUANO MAGIN**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL
POPAYÁN
2012**

**ESTUDIO DE MESOFAUNA Y MACROFAUNA EN PARCELAS FERTILIZADAS
Y NO FERTILIZADAS EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus grandis* EN LA
MESETA DE POPAYÁN CAUCA Y RESTREPO VALLE DEL CAUCA**

**ZAIRA WUASBLEDY ORTIZ COLLAZOS
ANJY JENITH RUANO MAGIN**

**Trabajo de grado en la modalidad de investigación para optar al título de
ingeniero forestal**

**M.Sc. Catalina García
M.Sc. Juan Pablo Paz Concha**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL
POPAYÁN
2012**

Nota de aceptación

El director y los jurados han leído y revisado este documento, han escuchado la sustentación del mismo por sus autores y lo encuentran satisfactorio.

Dr. Roman Stechauner
Presidente de jurado

M. Sc. Iván Enrique Paz
Jurado

M.Sc. Catalina García Solórzano
Directora

M.Sc. Juan Pablo Paz Concha
Director

Popayán 25 de abril de 2012.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por haberme acompañado en la realización de este sueño y por mantener a mi lado a las personas que más quiero, a mi familia especialmente a mis padres Carlos Ortiz y María Alina Collazos, por su trabajo y esfuerzo, por sus consejos, palabras y en especial por inculcar siempre en mí el respeto y la responsabilidad, a mi hermana Lina Marcela Ortiz por su apoyo y por alentarme en cada momento, a mi sobrina Laura Valentina Chávez por llenar mi vida de alegría, este título profesional es para ustedes. A mis amigos de la fundación Proespero que son mi ejemplo para seguir adelante. A Diego Alexander por compartir tantos momentos de esta meta y por creer en mí.

ZAIRA WUASBLEDY ORTIZ C.

Quiero dedicar este trabajo a Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado su infinita bondad y amor. A mi familia, por haberme apoyado en todo momento, en especial a mi padre Silvio Ruano, por todo lo que me han dado en la vida, sin él no sería posible este logro, por sus consejos, sus valores, y la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien. A mi hermana Silvia por su constante compañía y a mi querida Madre que desde el cielo, sepa que la amo mucho.

ANJY J. RUANO M.

AGRADECIMIENTOS

Probablemente en esta página no alcancemos a mencionar a todas las personas que nos acompañaron en este proceso. Queremos agradecerles especialmente a Dios y a nuestras familias, a la compañía Smurfit Kappa Cartón de Colombia, al profesor Juan Pablo Paz por apoyarnos durante todo el proceso, a la Ing. Catalina García, al Ing. Roman Ospina, a los ingenieros de la compañía Marcela Zapata y Mauricio Zapata, por permitirnos trabajar en el proyecto de investigación y por las asesorías, además queremos mencionar la gestión de la ingeniera Marcela Zapata quien consiguió una cita con el Doctor Patrick Lavelle, a él por atendernos amablemente en su oficina y atender nuestras dudas e inquietudes, a todo el equipo de trabajo de la empresa por su colaboración en las actividades de campo. A nuestros amigos y a todas las personas que de una u otra manera nos acompañaron y participaron en la realización de esta meta.

RESUMEN

Con el objetivo de identificar las comunidades edáficas de meso y macrofauna presentes en parcelas fertilizadas y no fertilizadas en suelos de plantaciones de *Eucalyptus grandis* pertenecientes a la compañía Smurfit Kappa Cartón de Colombia, se desarrolló una investigación en plantaciones de 7 años de edad en las fincas Chupillauta, Pital y Don Miguel localizadas en la meseta de Popayán, Cauca y en la finca Rancho Grande ubicada en Restrepo, Valle del Cauca. En cada una de las fincas se establecieron parcelas testigo y fertilizadas, las últimas fueron fertilizadas cada dos años con 180 Kg/ha de nitrógeno, 20 Kg de fósforo/ha y 2 Kg/ha de boro. De cada parcela se extrajo un monolito de suelo cada dos meses durante un año, siguiendo una metodología similar a la recomendada por el programa de fertilidad y biología de suelos tropicales (TSBF) (Anderson e Ingram, 1993), los organismos recolectados se agruparon en unidades taxonómicas amplias, para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo a la abundancia y biomasa de las unidades taxonómicas, los datos fueron sometidos al análisis de varianza no paramétrico mediante la prueba Kruskal-Wallis, los resultados obtenidos muestran que en ninguna de las fincas existen diferencias significativas entre los tratamientos. Además, se realizaron análisis de correlaciones de Spearman, para determinar si existían relaciones entre la precipitación y la altitud respecto a las unidades taxonómicas identificadas, se reconocieron correlaciones significativas para lombrices y coleópteros frente a la precipitación y la altitud.

Palabras claves: abundancia, biomasa, correlaciones, fertilización, macrofauna, mesofauna, plantaciones de *Eucalyptus grandis*.

ABSTRACT

In order to identify soil mesofauna and macro fauna communities in fertilized and unfertilized plots, which were established in planted *Eucalyptus grandis* forests which belong to Smurfit Kappa Carton de Colombia Company, we developed a research in seven years old forests at Chupillauta, El Pital and Don Miguel farms which are located in Popayan, Cauca and Rancho Grande farm which is located in Restrepo, Valle del Cauca. In each farm we established a plot which was fertilized every two years with 180kg of nitrogen, 20kg of phosphorous and 2kg of boron, the other plot was a core sample. From each plot we got a soil monolith every two months during one year, following a methodology similar to the recommended methodology by the Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF)(Anderson e Ingram, 1993). The organisms that we harvested were divided in large taxonomic units in order to determinate the significant differences within the treatments according to the abundance and biomass of the taxonomic units. The information was getting into a no parametric analysis trough the Kruskal-Wallis statistic proof, the results gotten didn't show any important differences within the treatments at none of the farms. Also we did Spearman correlations analysis in order to know if in the taxonomic units there was a relation within the variables precipitation and altitude. We got from this analysis that there were important precipitation-altitude correlations about earthworm and beetle too.

Key words: abundance, biomass, correlations, fertilization, macrofauna, mesofauna, *Eucalyptus grandis* plantations.

GLOSARIO

ABUNDANCIA DE ESPECIES se refiere al número de especies en un área determinada.

ALTITUD es la distancia vertical entre un punto situado sobre la superficie terrestre o la atmósfera y el nivel medio del mar.

DIVERSIDAD BIOLÓGICA las diferentes formas y variedades en que se manifiesta la vida en el planeta tierra, es decir desde organismos vivos hasta los ecosistemas; comprende la diversidad dentro de cada especie.

EDAFOFAUNA son aquellos organismos que habitan y/o se alimentan en el suelo.

HOJARASCA capa de la superficie del suelo forestal formada por desechos orgánicos inertes de trozos de plantas como hojas, ramas, y otras sustancias vegetales, que han caído recientemente o que están ligeramente descompuestas.

MACROFAUNA son organismos de 10 o más mm, por lo que son visibles sin utilizar lupas o microscopios. Se trata de organismos excavadores que viven, hibernan y/o se alimentan de otros organismos del suelo.

MESOFAUNA se encuentran organismos de tamaño comprendido en el rango de 0.1 a 10 mm. Los taxones más abundantes son los microartrópodos tales como los ácaros, colémbolos, pequeños Myriapoda, etc.

MONOLITO DE SUELO es una porción de suelo que permite observar los atributos del mismo en su condición natural.

PLANTACIONES FORESTALES son superficies arbóreas de una misma especie que se han obtenido de forma artificial, tienen los mismos años de vida y presentan una separación homogénea.

TAXÓN unidad sistemática que designa un nivel jerárquico en la clasificación de los seres vivos, como la especie, el género, la familia, el orden y la clase.

UNIDAD TAXONÓMICA es la agrupación de seres vivos cuyas características y funciones que cumplen en el ecosistema son similares.

BIOMASA masa de organismos en cualquier nivel trófico, área o volumen de un ecosistema. La biomasa se mide en cantidad de materia por unidad de superficie o de volumen. Los valores de biomasa y sus variaciones son magnitudes muy importantes en ecología.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO TEORICO	17
1.1 LA RED TRÓFICA DEL SUELO	17
1.2 CLASIFICACIÓN DE LA FAUNA DEL SUELO	18
1.2.1 Clasificación de la biota del suelo de acuerdo al ancho corporal	19
1.2.1.1 Microfauna	19
1.2.1.2 Mesofauna	19
1.2.1.3 Macrofauna	20
1.2.2 Clasificación de acuerdo a la distribución vertical de los organismos del suelo	20
1.2.2.1 Epigéicos	20
1.2.2.2 Anécicos	20
1.2.2.3 Endogéicos	21
1.2.3 Clasificación de la fauna del suelo en grupos funcionales	21
1.2.3.1 Microdepredadores	21
1.2.3.2 Transformadores de la hojarasca	21
1.2.3.3 Depredadores	21
1.2.3.4 Ingenieros del ecosistema	21
1.2.4 Principales grupos taxonómicos de la fauna del suelo	22
1.2.4.1 Arthropoda	22

1.2.4.2 Phylum Annelida	34
1.2.4.3 Phylum Mollusca	36
1.3 LAS RELACIONES DE LA MACROFAUNA Y EL HABITAT	37
1.4 PATRONES DE BIODIVERSIDAD DEL SUELO A NIVEL DE PAISAJE	38
1.5 PATRONES LOCALES DE LA BIODIVERSIDAD DEL SUELO	39
1.6 LA FERTILIZACIÓN EN PLANTACIONES DE <i>E. grandis</i>	40
2. METODOLOGÍA	41
2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	41
2.1.1 Diseño y selección del área de muestreo	42
2.1.2 Tratamientos	43
2.2 MUESTREO DE MESOFAUNA Y MACROFUANA	44
2.2.1 Intensidad de los muestreos	44
2.2.2 Trabajo en campo	44
2.2.3 Trabajo en laboratorio	46
2.2.4 Identificación y cuantificación de los organismos	48
2.2.5 Estimación de biomasa de comunidades edáficas	50
2.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	51
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
3.1 ABUNDANCIA RELATIVA DE UNIDADES TAXONÓMICAS EDÁFICAS EN PLANTACIONES DE <i>Eucalyptus grandis</i>	52
3.2 COMPARACIÓN ENTRE LOS TRATAMIENTOS DE ACUERDO A LA ABUNDANCIA Y BIOMASA DE LAS COMUNIDADES EDÁFICAS PRESENTES EN PLANTACIONES DE <i>Eucalyptus grandis</i>	55

3.3 COMPARACIÓN DE LA ABUNDANCIA Y BIOMASA DE UT ENTRE LAS FINCAS	58
3.4 CORRELACIONES ENTRE LA PRECIPITACIÓN Y LA FAUNA DEL SUELO PRESENTE EN PLANTACIONES DE <i>Eucalyptus grandis</i>	59
3.5 CORRELACIONES ENTRE LA ALTITUD Y LA FAUNA DEL SUELO PRESENTE EN PLANTACIONES DE <i>Eucalyptus grandis</i>	60
4. CONCLUSIONES	62
5. RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	80

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Principales grupos taxonómicos del suelo	37
Cuadro 2. Distribución del área de investigación	41
Cuadro 3. Orden Taxonómico de los suelos de las fincas Chupillauta, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande	43
Cuadro 4. Fechas de plantación, última fertilización y primer muestreo en las fincas Chupillauta, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande	43
Cuadro 5. Densidad y abundancia relativa de unidades taxonómicas en las fincas Chupillauta y El Pital	53
Cuadro 6. Densidad y abundancia relativa de unidades taxonómicas en las fincas Don Miguel y Rancho Grande	53
Cuadro 7. Significancia de la prueba de Kruskal-Wallis para la comparación de abundancia y biomasa de acuerdo al tratamiento	55
Cuadro 8. Coeficiente de correlación de Spearman para UT y la precipitación	60

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. La red trófica del suelo	18
Figura 2. Metamorfosis del coleóptero Scolytidae	23
Figura 3. Morfología del saltamontes	23
Figura 4. Morfología de collembola	24
Figura 5. Morfología del coleóptero <i>Nothocolus omissus</i> (Coccinellidae)	25
Figura 6. Formas larvarias del orden Coleoptera.	25
Figura 7. Morfología de himenóptero	27
Figura 8. Castas de una colonia de termitas, orden Isoptera	28
Figura 9. Larva de lepidóptero (Geometridae)	29
Figura 10. Morfología del orden Araneae	30
Figura 11. Vista dorsal del ácaro <i>Macrocheles merdarius</i> Bersele	31
Figura 12. Morfología de <i>Scolopendra sp.</i> (Quilópodo). Vista dorsal y ventral	32
Figura 13. Morfología de Diplopoda	33
Figura 14. Principales características en Isopoda Oniscidea	34
Figura 15. Morfología general clase Oligochaeta	35
Figura 16. Modelo jerárquico de la función del suelo	38
Figura 17. Diseño de parcelas en las fincas Chupilluata, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande	42
Figura 18. Área de aplicación del fertilizante en parcelas de <i>E. grandis</i> en las fincas Chupillautu, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande	44

Figura 19. Monolito de suelo y molde metálico con dimensiones	45
Figura 20. Área de extracción del monolito de suelo	45
Figura 21. Submestras de suelo empacadas en las bolsas plásticas con cierre hermético	46
Figura 22. Extracción de la fauna del suelo	47
Figura 23. Herramientas para la extracción de comunidades edáficas	47
Figura 24. Almacenamiento de los insectos en los recipientes rotulados	48
Figura 25. Estereoscopio Marca Motic, Modelo SMZ-168	48
Figura 26. Elementos utilizados para la identificación	49
Figura 27. Balanza analítica Mettler AJ-100	50
Figura 28. Precipitación acumulada de las fincas Chupillauta, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande en cada muestreo	59

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Características químicas de los suelos de las parcelas fertilizadas de las fincas Chupillauta, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande	80
Anexo B. Características químicas de los suelos de las parcelas testigo de las fincas Chupillauta, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande	81
Anexo C. Registro fotográfico del Orden Coleóptero	82
Anexo D. Registro fotográfico de los ordenes Isopoda y Diplura	83
Anexo E. Registro fotográfico del orden Araeae y clase Oligochaeta	84
Anexo F. Significancia de la prueba de Mann Whitney para la comparación entre las fincas Chupillauta vs El Pital, Don Miguel y Rancho Grande	85
Anexo G. Significancia de la prueba de Mann Whitney para la comparación entre las fincas El Pital vs Don Miguel y Rancho Grande	86
Anexo H. Significancia de la prueba de Mann Whitney para la comparación entre las fincas Don Miguel vs Rancho Grande	87

INTRODUCCIÓN

Los habitantes del suelo, micro, meso y macroorganismos juegan un papel muy importante en los procesos de formación de los suelos y en la fertilidad de los mismos. Regulan las poblaciones microbianas responsables de la mineralización y humificación y por lo tanto influyen en el ciclo de la materia orgánica y en la liberación de nutrientes asimilables, a través de su acción mecánica sobre el suelo. Los macroinvertebrados pueden modificar la textura y las propiedades físicas del suelo en los horizontes superiores que habitan (Lavelle *et al.*, 1994) además, las actividades de la macrofauna también pueden favorecer el crecimiento de las plantas (Spain *et al.*, 1992; Lavelle, 1996). La diversidad y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados hacen que estas sean importantes especialmente en grupos como los de las termitas, lombrices y hormigas, que en muchos casos se pueden utilizar como indicadores de la calidad del suelo (Stork y Eggleton, 1992; citados por Decaëns *et al.*, 2003). A pesar de la relevancia de este tema, a nivel nacional y regional las investigaciones de edafofauna en plantaciones forestales son escasas, esta situación limita la comparación de resultados obtenidos con otros estudios.

Dada la importancia de las actividades de la fauna del suelo, el objetivo de esta investigación fue identificar las comunidades edáficas meso y macrofauna presentes en los suelos de plantaciones de *Eucalyptus grandis*, comparar la abundancia taxonómica en parcelas fertilizadas y no fertilizadas, y analizar su relación con la precipitación y altura sobre el nivel del mar en las cuatro áreas de estudio. Para el muestreo de la fauna edáfica se empleó una metodología similar a la recomendada por el programa de Fertilidad y Biología de Suelos Tropicales (TSBF) (Anderson e Ingram, 1993).

1. MARCO TEORICO

Pellens y Garay (1999) afirman que los estudios comparativos que permiten la identificación de las principales especies como indicadores de funcionamiento del suelo son todavía muy incompletos, y que prácticamente nada se sabe acerca de la mesofauna edáfica presente en las plantaciones.

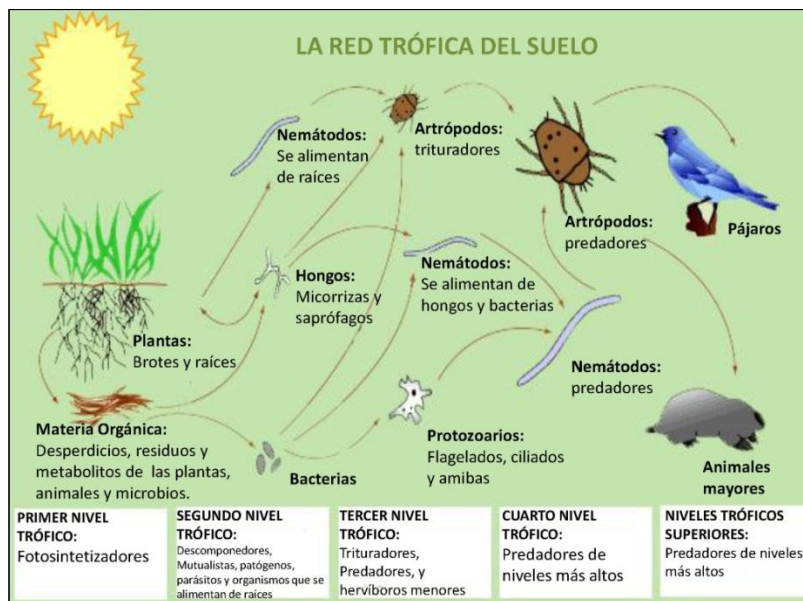
El suelo es el componente básico de los ecosistemas terrestres, que funciona no solamente como soporte físico y de niveles tróficos para las plantas, sino también como reciclador de los materiales orgánicos y de los residuos biodegradables. Esto resulta del trabajo organizado entre socios de micro, meso y macroorganismos, las cuales varían de acuerdo a las características del suelo, flujos de energía y la participación del hombre en el uso y manejo de este sistema abierto (Chamorro, 2001).

1.1 LA RED TRÓFICA DEL SUELO.

El concepto de las redes tróficas se diseñó para entender el complejo funcionamiento de las relaciones nutricionales en las comunidades animales. En su forma más simple, las redes tróficas representan vínculos entre especie o gremios alimentarios (especies tróficas) de manera binaria, por ejemplo, dibujando flechas entre la presa y el depredador. Estas redes tróficas de conexión son relativamente fáciles de construir y por lo tanto las más comunes. Pueden ayudar a visualizar las principales relaciones entre las especies; sin embargo informan poco sobre los posibles efectos de los depredadores sobre las presas o viceversa y por lo tanto, son de limitado valor para entender las fuerzas estructurantes dentro de las redes tróficas. El objeto de las redes tróficas del suelo es el entendimiento del impacto de las comunidades edáficas sobre los procesos de descomposición y el ciclo de nutrientes (Scheu, 2002). La red trófica del suelo, también conocida como red alimentaria del suelo, tiene una base y grupos de organismos establecidos. El número de organismos y las diferentes especies de cada grupo pueden variar significativamente en función del tipo de suelo, clima y la presencia de plantas. Las plantas y su estructura son el elemento principal que determina los recursos alimenticios disponibles en el suelo para ser utilizados por hongos y bacterias. El material vegetal vivo producido por la fotosíntesis proporciona, a través de las raíces, la energía inicial para el sistema de alimentación del suelo. El material proveniente de las plantas muertas es descompuesto por bacterias y hongos, permitiendo una multiplicación de estos organismos y de sus productos metabólicos. Estos microorganismos retienen en sus estructuras gran cantidad de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, hierro y otros micronutrientes, evitando que los mismos se lixivien hacia las capas

profundas de la tierra o sean arrastrados por las lluvias. Como sucede en los más conocidos ecosistemas terrestres, hay otros organismos presentes que depredan sobre estos herbívoros. Los depredadores son principalmente nematodos benéficos, protozoos, ácaros y otros animales diminutos que permiten reciclar nutrientes en el sistema y mantener las poblaciones en equilibrio. A su vez, estos depredadores son ingeridos por otros animales, principalmente por aquellos que pasan alguna parte de su ciclo de vida en la superficie de la tierra, como insectos, pájaros, y otros animales pequeños. Es importante ver la red alimentaria del suelo como un sistema complejo e integral. Cuando un grupo cualquiera de organismos del sistema es eliminado o dañado, el delicado equilibrio puede ser alterado (Bermejo, 2002). En la Figura 1 se representa la red alimentaria del suelo.

Figura 1. La red trófica del suelo.



Fuente: Bermejo (2002).

1.2 CLASIFICACIÓN DE LA FAUNA DEL SUELO.

Para reducir la complejidad de la clasificación de la fauna del suelo se han realizado varias clasificaciones que comprenden el tamaño corporal de la biota del suelo (Bachelier, 1978; Swift *et al.*, 1979; citados por Lavelle, 1997), la distribución vertical de los organismos (Bouché, 1977; citado por Lavelle *et al.*, 1994), la función de los organismos en el suelo (Lavelle, 1996), y los grupos taxonómicos de la fauna del suelo (Chamorro, 2001).

1.2.1 Clasificación de la biota del suelo de acuerdo al ancho corporal. Esta clasificación se extiende de los protozoarios más pequeños de 1-2 μm a los megagusanos, las categorías de tamaño corporal son:

1.2.1.1 Microfauna. Incluye organismos menores de 0.1 mm de ancho corporal, los dos grupos más abundantes de microfauna son los protozoarios y los nematodos. En vista de que los protozoarios requieren una película de agua para la locomoción y la alimentación, su actividad se limita a espacios de poros llenos de agua, pero pueden soportar la sequedad del suelo y de otras condiciones adversas, formando rápidamente unas estructuras resistentes. La importancia de los protozoarios en ecosistemas terrestres resulta principalmente de sus actividades de alimentación. Mientras que los hábitos de alimentación de protozoarios en el suelo son todavía inciertos, se piensa que la mayoría se alimenta de bacterias, aunque también se consideran los fungívoros, los protozoarios depredadores, y los protozoarios saprófitos que absorben compuestos solubles. Su efecto directo está fundado en el hecho de que una gran porción (hasta el 60%) de los nutrientes ingeridos son excretados al entorno suelo, desencadenando la disponibilidad de los nutrientes para la captura por parte de las plantas, mientras que su efecto indirecto está relacionado con su impacto sobre la actividad y la composición de las comunidades microbianas (Bardgett y Griffiths 1997; citados por Bardgett, 2005). Al igual que los protozoarios, los nematodos también han desarrollado mecanismos para sobrevivir bajo condiciones no-favorables. El papel de los nematodos en los sistemas del suelo está relacionado con sus actividades de alimentación, y puede efectuarse directamente a través de la excreción de nutrientes al suelo o indirectamente por alteración del tamaño, la composición y de la actividad de la comunidad microbiana (Bardgett, 2005).

1.2.1.2 Mesofauna. Incluye organismos que miden entre 0.1 y 2 mm de ancho corporal, estos organismos viven y se mueren en el mantillo, hendiduras del suelo y poros. Los microartrópodos son los grupos mejor conocidos de la mesofauna. Los dos grupos más abundantes de microartrópodos son los Collembola, que son pequeños (longitud hasta de 5 mm) y los ácaros, que se clasifican en 7 órdenes, pero la mayoría de las formas edáficas pertenecen a los órdenes Cryptostigmata, Mesostigmata, Prostigmata, y Astigmata (Bardgett, 2005). Numéricamente, los microartrópodos son el grupo faunístico no-acuático más abundante de los suelos de la mayoría de los ecosistemas (Bardgett, 2005). Se alimentan del mantillo y microorganismos (Swift *et al.*, 1979; citado por Cole *et al.*, 2006). Otro grupo notable, pero mucho menos estudiado de la mesofauna, es el de los enquitreidos (Oligochaeta). Son menos notables debido a su tamaño pequeño, más pequeños que otros anélidos como las lombrices, alcanzando longitudes de solamente 10-50 mm. Su principal fuente de alimentos son micelios fungosos, pero también se alimentan de materiales orgánicos en descomposición y microorganismos

asociados a ella (Didden 1993; citado por Bardgett, 2005). Hay poca información disponible acerca de la composición de las especies de las comunidades de enquitreidos, pero normalmente se trata de 5-6 especies en suelos boscosos de pino escocés (*Pinus sylvestris*) (Lundkvist 1983; Didden y Fluiter 1998; citados por Bardgett, 2005).

1.2.1.3 Macrofauna. La macrofauna es el grupo de fauna más conspicuo del suelo, y también el más documentado en términos de su biología y su impacto sobre la fertilidad del suelo. Son organismos con un ancho corporal mayor a 2 mm. Incluye una amplia gama de grupos taxonómicos que atraviesan varios niveles tróficos. Por ejemplo, los milpiés y los áfidos de la madera, son los principales consumidores de desechos en bosques, y varias larvas de insectos, tales como los de los Tipulidae, son consumidores importantes de material radical, mientras que los ciempiés, las arañas, los alacranes y los escarabajos tienden a ser depredadores dominantes en la hojarasca y en el suelo (Lavelle *et al.*, 1994; Bardgett, 2005). En el suelo las actividades de alimentación de la macrofauna influyen significativamente sobre la estabilidad y la transformación de residuos vegetales y de la materia orgánica del suelo; pudiendo modificar el entorno edáfico (Wolters, 2000; Lavelle *et al.*, 1997). Lavelle y Spain en (2001) afirman que la macrofauna edáfica fragmenta los residuos vegetales y los mezcla con el suelo, incrementando su superficie en un factor de 50 a 200, facilitando la colonización por microorganismos desdobladores (Webb, 1977; citados por Stechauner, 2010).

1.2.2 Clasificación de acuerdo a la distribución vertical de los organismos del suelo. Bouché (1977) citado por Lavelle *et al.* (1994) agrupó a los macroinvertebrados de acuerdo con los recursos que utilizan y su distribución vertical en tres categorías:

1.2.2.1 Epigéicos. Viven y se alimentan del mantillo y cadáveres de otros invertebrados; fragmentan, dispersan y digieren parte de la materia orgánica que llega al suelo participando en su descomposición. En este grupo se incluyen artrópodos saprófagos y pequeñas lombrices pigmentadas; también depredadores de otras especies pertenecientes a Chilopoda, hormigas y algunos coleópteros.

1.2.2.2 Anécicos. Consumen suelo y mantillo pero viven en las capas subsuperficiales del suelo, además pueden distribuir cantidades considerables de suelo, elementos minerales y materia orgánica, también realizan excavaciones subterráneas y nidos que les sirven de refugio. Este grupo incluye algunas lombrices pigmentadas y la mayoría de especies de termitas.

1.2.2.3 Endogéicos. Viven en el suelo y se alimentan en su mayor parte de él (geófagos) o de raíces vivas o muertas. Los dos grupos principales son las lombrices no pigmentadas y termitas húmicas. Se subdividen en tres categorías de acuerdo con la cantidad de materia orgánica que ingieren: Polihúmicos: su alimento está constituido en su mayor parte por altos contenidos de materia orgánica que son tomados del mismo medio que las anteriores. Oligohúmicos: el alimento consumido preferiblemente son arcillas y bajos contenidos de materia orgánica.

1.2.3 Clasificación de la fauna del suelo en grupos funcionales. Las funciones que cumplen los invertebrados del suelo dependen, en gran medida, de la eficacia de su sistema digestivo –el cual depende, a su vez, del tipo de interacción que mantiene con la microflora del suelo– y de la naturaleza y la abundancia de las estructuras biológicas que esos invertebrados producen en el suelo (Lavelle 1996, 1997). Partiendo de estos dos criterios, se pueden distinguir tres grandes grupos funcionales de invertebrados:

1.2.3.1 Microdepredadores. Este grupo incluye a los invertebrados más pequeños, los protozoos y los nematodos. Estos organismos no producen estructura órgano-mineral alguna (Lavelle 1996; 1997) y su efecto principal es estimular la mineralización de la materia orgánica (Couteaux *et al.*, 1991; Ingham *et al.*, 1985).

1.2.3.2 Transformadores de la hojarasca. En este grupo se encuentran los representantes de la mesofauna y de parte de macrofauna (Lavelle, 1996). Cuando estos invertebrados reingieren sus deyecciones, que sirven de incubadoras de la microflora, asimilan los metabolitos liberados por la acción microbiana.

1.2.3.3 Depredadores. Se diferencia entre depredadores de primer y de segundo nivel. Los primeros regulan las poblaciones de diferentes especies pertenecientes a los niveles tróficos que les subyacen; mientras que los depredadores de segundo son los que de manera efectiva pueden controlar algunas especies correspondientes al grupo de los depredadores de primer nivel (Scheu, 2002).

1.2.3.4 Ingenieros del ecosistema. Son aquellos organismos que producen estructuras físicas con las cuales modifican la disponibilidad o accesibilidad de un recurso para otros organismos. Su actividad y la producción de estructuras biogénicas pueden modificar la abundancia o la estructura de otras comunidades de organismos (Jones *et al.*, 1994, 1997). De las innumerables formas de vida que

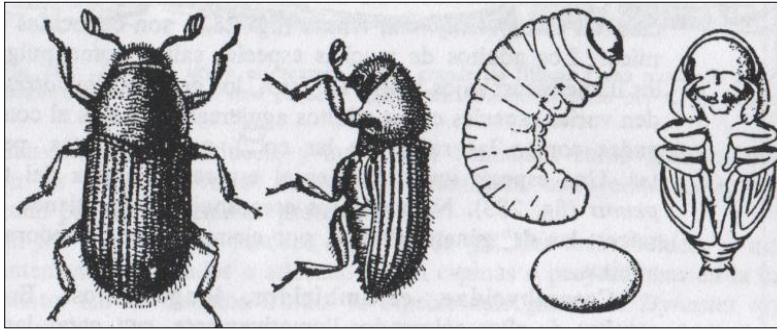
habitan los suelos, solo un pequeño número de macroinvertebrados (lombrices, termitas y hormigas) se distinguen por su capacidad de horadar el suelo y producir una gran variedad de estructuras órgano-minerales: deyecciones, nidos, montículos, macroporos, galerías y cámaras. Estos organismos han sido descritos como ingenieros ecológicos del suelo, y las estructuras que producen han sido llamadas “estructuras biogénicas” (Lavelle 1996; 1997).

1.2.4 Principales grupos taxonómicos de la fauna del suelo. Chamorro (2001), afirma que la edafofauna en Colombia está agrupada en 5 Phylla entre ellos: Arthropoda, Annelida, Mollusca, Nematoda y Chordata, 11 clases, 54 órdenes y 274 familias. Los organismos más representativos tanto de la mesofauna como de la macrofauna edáfica pertenecen a los Phylla Arthropoda y Annelida, por tal razón en este documento se hará referencia a estos dos Phylla y a sus clases y órdenes distintivos. Ellos contribuyen con su trabajo al desarrollo del suelo y a la conservación de su fertilidad. A continuación se presenta la clasificación taxonómica de la biota edáfica.

1.2.4.1 Arthropoda. Es especialmente significativa la participación de los colémbolos y los ácaros, ya que constituyen las mayores poblaciones de artrópodos del suelo. Otros grupos más importantes son los Myriapoda, dentro del cual se destacan los Chilopoda, junto con los sínfilos y los Diplopoda; en insecta se debe resaltar la actividad de los Isoptera (termitas), Diptera, Hymenoptera (hormigas), algunos Lepidoptera y, especialmente los coleópteros (Chamorro, 2001). Entre las funciones de algunos Arthropoda edáficos se encuentran algunos que reingieren sus pellets para absorber los compuestos liberados por los microorganismos y, ocasionalmente, parte de la biomasa microbiana (Ekschmitt *et al.*, 2005). Para algunos Arthropoda saprófagos, los microorganismos son una fuente importante de proteínas de fácil asimilación (Weiss, 2006), hasta el punto de que deberían considerarse, en un sentido estricto, como micófalos (Möller, 2005).

Clase Insecta. En el transcurso de su vida los insectos sufren modificaciones en su forma a este fenómeno se le denomina metamorfosis que puede ser completa, en este caso comprende diferentes estados como: huevo, ninfa, larva, pupa y adulto, se dice que son insectos holometábolos (Figura 2). Cuando la metamorfosis es simple o incompleta los organismos se caracterizan por que los estadios juveniles e inmaduros asemejan al adulto, en este caso son organismos hemimetábolos.

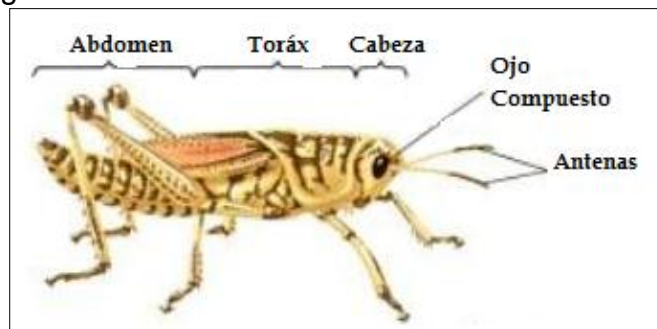
Figura 2. Metamorfosis del coleóptero Scolytidae.



Fuente: Ross (1982).

En los insectos adultos se distinguen tres regiones generalmente bien definidas: cabeza, tórax y abdomen. La cabeza, es la primera parte del cuerpo y en ella se encuentra el aparato bucal, los ojos y las antenas. El tórax, es la segunda región del cuerpo, está formada por tres segmentos a los que se les denomina protórax, mesotórax y metatórax. En cada segmento casi siempre se localiza un par de patas, la mayoría de los adultos cuentan con tres pares de patas articuladas que están formadas por las siguientes piezas: coxa, trocánter, fémur, tibia y tarso. La función principal de las patas es la locomoción. El abdomen es la tercera sección del cuerpo y en ella se encuentra un número variable de segmentos dependiendo del orden (Coronado y Márquez, 1996). En la Figura 3 se observa la morfología del saltamontes.

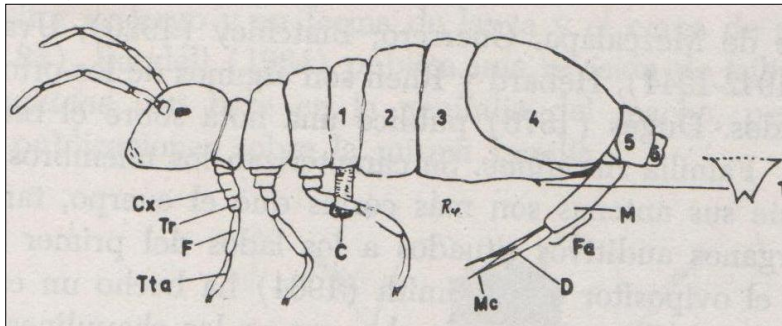
Figura 3. Morfología del saltamontes.



Adaptado de Campbell y Reece (2007).

Orden Collembola. Son insectos de cuerpo liso o cubierto de pelos y escamas, su tamaño raramente excede los 5 mm, con aparato bucal mandibulado o picador, ojos, antenas cortas o moderadamente largas y de pocos segmentos. Estos insectos carecen de alas; su abdomen es de seis segmentos (Figura 4). En los Collembola no hay metamorfosis (modificaciones a nivel de forma en los insectos) (Coronado y Márquez, 1996).

Figura 4. Morfología de Collembola.

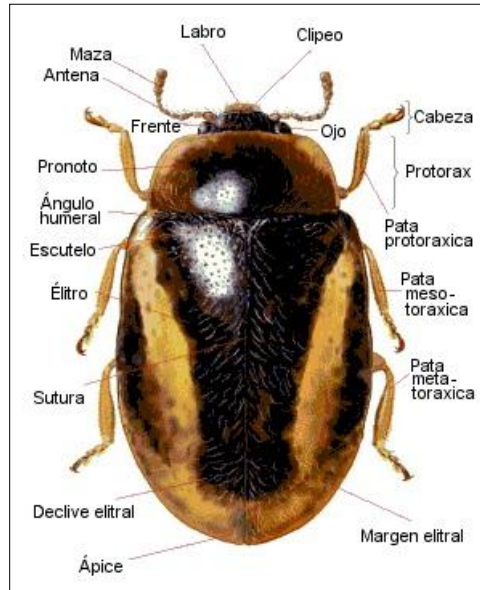


C: coloforo; T: tenáculo; Fa: fúrcula; M: manubrio; D: diente; Mc: mucro.
Fuente: Coronado y Márquez (1996).

Los Collembola habitan principalmente en las capas orgánicas del suelo, debido a que allí se encuentra la mayor actividad de descomposición y una mejor disponibilidad de alimento y espacio poroso para su alojamiento. La actividad de los Collembola en el suelo contribuye a liberar amonio, además sirven de alimento para los Arthropoda carnívoros (Chamorro, 2001). Son los organismos más abundantes en el suelo. Se conocen más de 6000 especies de Collembola (Chamorro, 2001) por lo que se distribuyen en una amplia gama de condiciones de suelo (Gillet y Ponge, 2003).

Orden Coleoptera. Los Coleoptera adultos son generalmente de cuerpo endurecido; su tamaño varía desde muy pequeño hasta muy grande, predominando las especies de tamaño medio. El aparato bucal es de tipo masticador y está provisto de mandíbulas fuertes; los ojos están bien desarrollados; antenas de diferentes tipos. Tórax con el primer par de alas endurecido y como estuche que protege al segundo par de consistencia membranosa, que usa el insecto para volar. El primer par recibe el nombre de élitros y a veces esta soldado; las alas membranosas pueden estar reducidas o faltar. Abdomen de 10 segmentos, en la Figura 5 se observan las características morfológicas del orden Coleoptera (Coronado y Márquez, 1996).

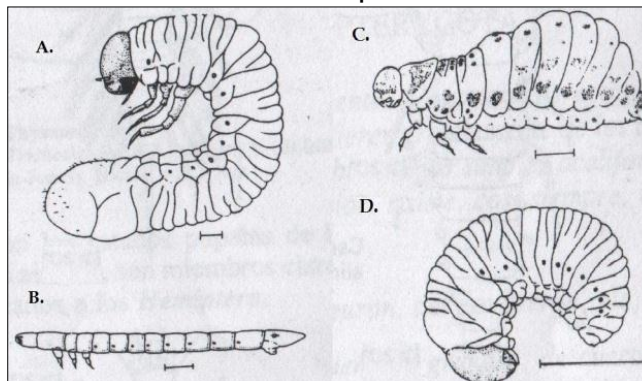
Figura 5. Morfología del coleóptero *Nothocolus omissus* (Coccinellidae).



Fuente: González (2006).

Son insectos holometábolos, algunos con hipermetamorfosis (las larvas pasan por diferentes estadios) (Coronado y Márquez, 1996). Las larvas tienen normalmente cápsulas cefálicas aparentes, aparato bucal masticador, antenas y patas torácicas, pero no patas abdominales (Ross, 1982). En la Figura 6 se presentan algunos tipos de larvas del orden Coleoptera.

Figura 6. Formas larvarias del orden Coleoptera.



A: *Melolontha* (Scarabaeidae); B: *Agriotes* (Elateridae); C: Coccinellidae; F: *Tomicus piniperda* (Scolytidae). Escala 2 mm.
Adaptado de Davies (1991).

Los adultos y larvas de los coleópteros son también una característica constante de las comunidades de animales del suelo. Son diversos taxonómicamente y difieren mucho en tamaño, y en las funciones ecológicas que cumplen en el suelo y en la hojarasca. La mayoría de ellos viven en la hojarasca (Lavelle y Spain, 2001). Chamorro (2001) afirma que la presencia de coleópteros en el suelo deriva en la transformación de residuos biodegradables, especialmente estiércol depositado sobre la superficie, el cual, al ser transformado es posteriormente incorporado al sistema edáfico en forma de crotovinas, a través de los túneles y canales que los coleópteros excavan, con lo que se facilita la infiltración del agua del suelo y el proceso de aireación. Según Camero y Chamorro (1999); citados por Chamorro (2001), los coleópteros representan en Colombia el 10% de la entomofauna del suelo, equivalente a 45% de las familias de Coleoptera del mundo.

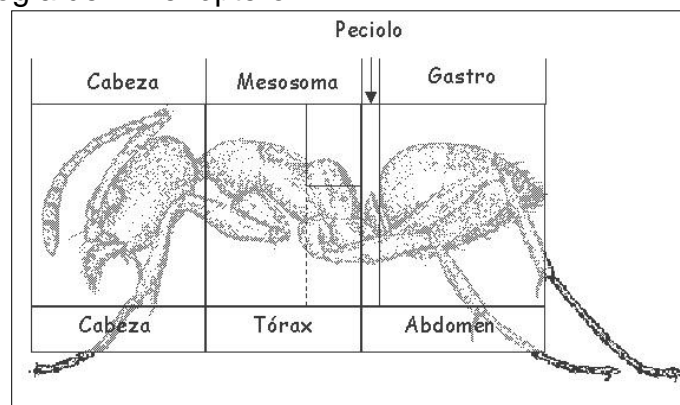
Las colecciones más diversas y características de los Arthropoda forestales son las especies "saproxílicas": Los Arthropoda que están asociados, durante parte de su ciclo de vida a los microhábitats encontrados en la madera muerta (Langor y Hammond, 2008). Los grupos que se alimentan de la corteza y la madera son los más conocidos, entre ellos los escarabajos (Coleoptera), las familias Cerambycidae, Curculionidae (Scolytinae), y Buprestidae (Hammond, 1997). Sin embargo, incluso en estos grupos no se conoce mucho acerca de las relaciones y la distribución de especies de insectos. El conjunto de saproxílicos presenta alta variabilidad espacial, ya que muchas de sus especies tienen asociaciones específicas al microhábitat, y no se distribuyen uniformemente dentro o entre rodales (Siitonen, 2001; Hammond *et al.*, 2004). También hay una sucesión temporal de las especies debido a que las características físicas, químicas y biológicas de la madera cambian significativamente con el tiempo, en gran parte como resultado de la descomposición (Hammond *et al.*, 2001).

Es importante mencionar a los coleópteros coprófagos, cuyo principal alimento es el excremento de vertebrados y en especial de mamíferos (Halffter y Edmonds, 1982; Hanski, 1989; citados por Escobar y Medina, 1996). Sin embargo algunas familias poseen hábitos alimenticios diferentes del excremento. Por ejemplo las especies de Scarabidae aprovechan carroña, además de hojarasca y frutas en descomposición (Gill, 1991; Halffter, 1991; citados por Escobar y Medina, 1996). La actividad de estos coleópteros está estrechamente ligada a procesos naturales importantes en el funcionamiento de los ecosistemas. El aprovechamiento que hacen de las heces, ayuda al reciclaje de nutrientes y remoción del suelo (Medina *et al.*, 1991; citados por Escobar y Medina, 1996).

Orden Hymenoptera. Son insectos de cuerpo robusto o alargado, en ocasiones cubierto de pelos, de tamaño pequeño. Tienen una cabeza bien desarrollada con

aparato bucal de tipo masticador, con adaptaciones para morder, lamer y chupar. El pronoto y algunos escleritos y suturas del segundo segmento del tórax presentan caracteres útiles en la clasificación de los Hymenoptera; las patas exhiben también caracteres taxonómicos, por ejemplo el tamaño y la forma de las coxas posteriores son típicas en algunos grupos. El abdomen con seis o siete segmentos visibles; frecuentemente el primero se fusiona con el tórax y el segundo se alarga formando una cintura denominada peciolo; hembras con ovopositor modificado y alargado. Son insectos holometábolos (Coronado y Márquez, 1996). En la Figura 7 se observan las características morfológicas más sobresalientes del orden himenoptera, familia Formicidae.

Figura 7. Morfología de himenóptero

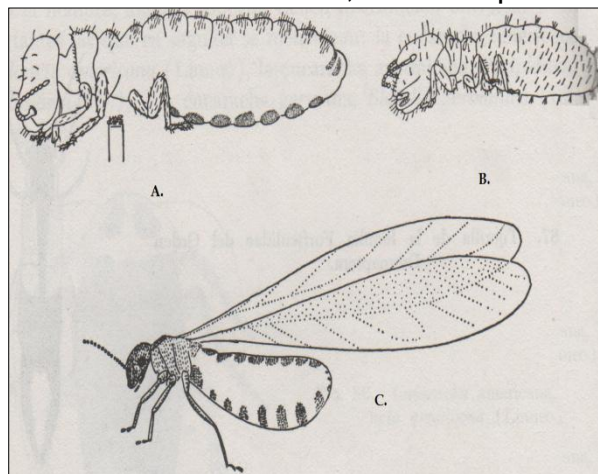


Fuente: Gómez y Espadaler (2007).

Una de las regiones más ricas en hormigas del Neotrópico es Colombia (Fernández, 1990; citado por Lozano y Fernández, 2007). El número de especies descritas se aproxima a 1000, con un número similar o mayor de especies sin describir (Lozano y Fernández, 2007). La dinámica de los nutrientes puede ser considerablemente afectada por las actividades de fauna del suelo, como las hormigas y las termitas. Siendo importantes bioturbadores del suelo, afectan los procesos del suelo y la disponibilidad de recursos tróficos y espaciales con diferente intensidad (Jones *et al.*, 1994). Además, tienen la capacidad de digerir selectivamente organismos patógenos y pueden influir en la dinámica de la vegetación de los ecosistemas naturales (termitas), ya que regulan de manera selectiva la diseminación de semillas y la composición de los bancos de semillas del suelo (Decaëns *et al.*, 2001). Hay evidencias correlativas que sugieren que las hormigas pueden reducir el número de depredadores epígeos, como opiliones, arañas y coleópteros que viven en la hojarasca (Niemelä *et al.*, 1992) y en los montículos del hormiguero (Laakso y Setälä, 1998). A pesar de las interacciones negativas con los depredadores invertebrados, las hormigas se asocian positivamente con las lombrices que pueden defenderse (Laakso y Setälä, 1998).

Orden Isoptera. La cabeza de estos insectos es de color oscuro y de tamaño pequeño a muy grande, piezas bucales masticadoras. Ojos compuestos bien desarrollados, pero a veces están reducidos; antenas de muchos segmentos, cortas o largas. El protórax es más pequeño que la cabeza. En las formas aladas, las alas tienen igual forma y venación, son del mismo tamaño. El insecto tira las alas cuando ya no las necesita. El abdomen tiene 10 segmentos y cerco de dos a ocho segmentos. Son de metamorfosis completa. Los Isoptera viven en colonias formadas por castas de obreras, soldados y reproductores en nidos que hacen en el suelo, en troncos y ramas de árboles (Figura 8) (Coronado y Márquez, 1996).

Figura 8. Castas de una colonia de termitas, orden Isoptera.



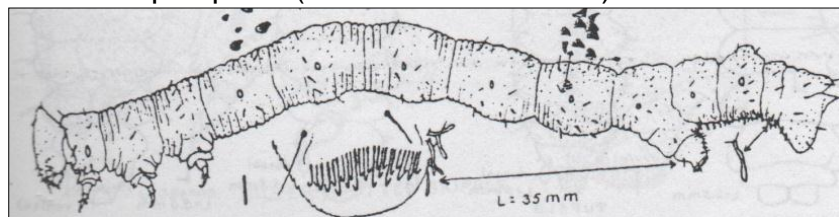
A y B: casta de obreras; C: casta de reproductores.
Fuente: Coronado y Márquez (1996).

Las termitas han sido reconocidas por desempeñar un papel muy importante en la descomposición de material vegetal muerto y por lo tanto en la circulación de nutrientes (Wagner *et al.* 1991; citados por Awadzi *et al.*, 2004), también desempeñan un papel importante en la formación del suelo (Lobry de Bruyn y Conacher, 1990; Lobry de Bruyn, 1999). Awadzi *et al.* (2004) afirman que las actividades de las termitas se concentran en la mayoría de los árboles caídos, pedazos de troncos, tocones de árboles muertos y ramas que están en el suelo del bosque, utilizan los árboles como fuente de alimento y al mismo tiempo como nido.

Orden Lepidoptera. Solamente los estados larvas y pupas de las mariposas tienen relación directa aunque pasiva con el ambiente edáfico, a través de sus hábitos alimenticios de tipo fitófago (Chamorro, 2001). Los Lepidoptera son insectos de holometábolos (Coronado y Márquez, 1996). Las larvas de los Lepidoptera generalmente tienen una cabeza desarrollada provista de ocelos

laterales; tórax con patas segmentadas o carnosas, abdomen de 10 segmentos, llevando por el lado ventral varios pares de falsas patas. Las larvas generalmente pertenecen a las familias Sphingidae, Noctuidae y Aegeriidae, Gelechiidae, Hepialidae e Incurvaridae (IGAC, 1995; citado por Ceballos, 2007). Se alimentan de follaje, tallos raíces y frutos de plantas mientras algunas especies hacen túneles en tallos, frutos, hojas y se denominan minadores. Otras especies son depredadoras de otros insectos, especialmente escamas y piojos de las plantas (Eisenbeis y Richard, 1985; citados por Ceballos, 2007). En la Figura 9 se observa una larva de Lepidoptera, familia Geometridae.

Figura 9. Larva de Lepidoptera (Familia Geometridae).

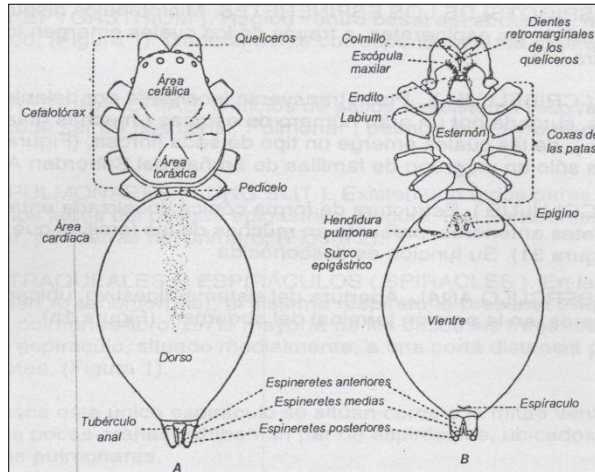


Fuente: Peterson (1960).

Clase Arachnida. Está conformada por un grupo diverso de Arthropoda y ampliamente distribuido. Incluye ácaros, arañas, Opiliones, pseudoescorpiones, escorpiones entre otros (Chamorro, 2001). Son depredadores de Collembola, Enchytraeidae, ácaros y muchos otros pequeños invertebrados de la hojarasca y del suelo (Lavelle y Spain, 2001).

Orden Araneae. Los organismos de este orden se caracterizan por tener el cuerpo dividido en dos regiones: cefalotórax y abdomen, unidos entre sí por un pequeño segmento llamado pedicelo. En el cefalotórax se alojan los órganos de la visión el aparato bucal, las glándulas de veneno y pares de apéndices articulados (Figura 10) (Flórez, 1996).

Figura 10. Morfología del orden Araneae.



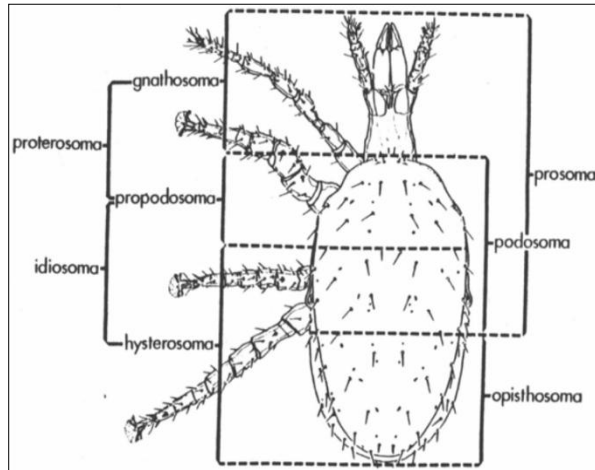
A: Vista dorsal; B: vista ventral.

Fuente: Flórez (1996).

El orden Araneae está compuesto por las arañas, con unas 41250 especies descritas (Platnick, 2010; citado por Cabra *et al.*, 2010), representan un componente significativo de la diversidad de Arthropoda terrestres. Se caracterizan por ser muy abundantes y ubicuas, emplear gran variedad de técnicas de captura de presa, ocupar una amplia diversidad de nichos espaciales y temporales y presentar respuestas específicas a distintos cambios ambientales (Toti *et al.*, 2000). Son las más afectadas por el cambio en la estructura de la vegetación (Uetz, 1991; citado por Oxbrough *et al.*, 2005) y esto ha llevado a que sean utilizadas en estudios del hábitat y en los efectos de las perturbaciones (Huhta, 2002; Marc *et al.*, 1999; Downie *et al.*, 1996; Uetz, 1979). Las comunidades de arañas también son muy abundantes en los ecosistemas forestales, estando presentes desde la hojarasca hasta el dosel (Halaj *et al.*, 2000; Uetz, 1979), y por lo tanto son ideales para el estudio de los ambientes forestales (Oxbrough *et al.*, 2005).

Orden Acari. El cuerpo de los Acari se puede dividir en dos regiones el protosoma y el opistisoma. La división no es clara y únicamente en algunos grupos se aprecia un surco que divide ambas partes (Figura 11) (Iraola, 1998).

Figura 11. Vista dorsal del ácaro *Macrocheles merdarius* Bersele.



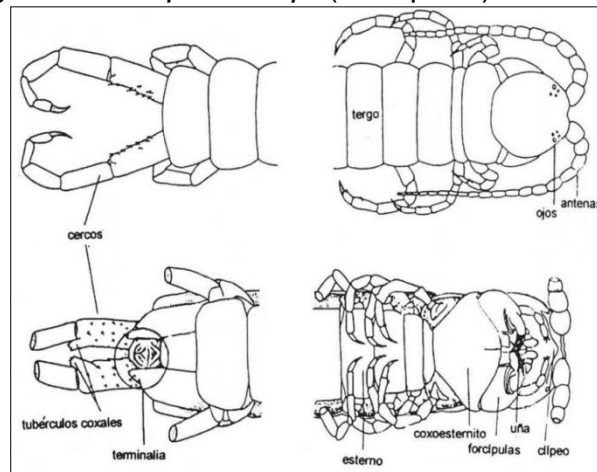
Fuente: Iraola (1998).

Uno de los depósitos más grandes e importantes de la biodiversidad en los ecosistemas terrestres es el subsistema de suelo-hojarasca. Los Acari son los invertebrados más diversos de este subsistema y un grupo funcional muy importante (Adolphson y Kinnear, 2008). Los Acari interactúan con otros elementos bióticos y abióticos (como macrofauna y microorganismos) que afectan la descomposición de materia orgánica, modifican las tasas de carbono y los flujos de nutrientes en el suelo (Adolphson y Kinnear, 2008; Wardle *et al.*, 2004). Los procesos que desarrollan incluyen la trituración de restos de hojas, la producción de materia fecal, que promueve la actividad de bacterias, hongos, la agregación del suelo y la distribución de propágulos microbianos (Adolphson y Kinnear, 2008; Brussaard, 1997). Sin embargo, también es el grupo, que es más afectado por el uso del suelo (Adolphson y Kinnear, 2008; Arroyo *et al.*, 2005; Behan-Pelletier, 1999).

Superclase Myriapoda. Son Arthropoda de cuerpo alargado y dividido en dos regiones que corresponden a la cabeza y el abdomen; la primera lleva un par de antenas largas o cortas (Coronado y Márquez, 1996). Los Myriapoda se dividen en dos clases separadas con los requerimientos ecológicos y funciones en el suelo completamente distintas. Los Chilopoda son en su mayoría carnívoros, mientras que los Diplopoda son saprófagos, con algunas excepciones. Los Diplopoda y Chilopoda se encuentran en la superficie del suelo, en las capas de hojarasca, sobre tocones de árboles y troncos en descomposición, y donde el aire húmedo los protege de la desecación (Lavelle y Spain, 2001). Al igual que los Diplopoda, los Chilopoda pierden agua a través de su cutícula en bajas humedades relativas. Evitan la desecación buscando hábitats húmedos y ajustando su actividad diurna a periodos húmedos (Coleman y Crossley, 1995; citados por Ceballos, 2007).

Clase Chilopoda. Se conocen como ciempiés, su cuerpo puede presentar desde unos pocos segmentos hasta más de 150 segmentos. Cada segmento, excepto el primero después de la cabeza y los dos últimos del cuerpo, lleva un par de patas articuladas. Los apéndices del primer segmento del cuerpo están modificados para formar las forcípulas (Figura 12) (Ubero, 2009).

Figura 12. Morfología de *Scolopendra* sp. (Chilopoda). Vista dorsal y ventral.

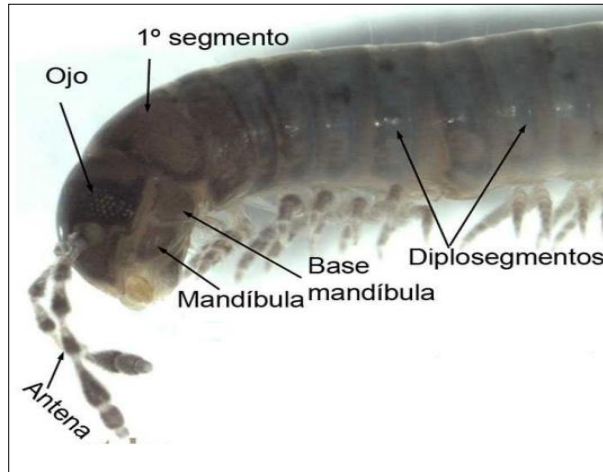


Fuente: Ubero(2009).

Los Chilopoda son depredadores comunes del suelo y de la hojarasca, algunos pueden ingerir hojarasca ocasionalmente, son rápidos corredores y capturan pequeñas presas como los Collembola (Coleman y Crossley, 1995; citados por Ceballos, 2007).

Clase Diplopoda. Tienen un cuerpo redondo subcilíndrico y presentan dos pares de patas por segmento. Su cuerpo también se diferencia en cabeza y tronco. La cabeza lleva lateralmente dos grupos de ojos simples y un par de antenas, mandíbulas y maxilas. Cada segmento del tronco presenta lateralmente un par de espiráculos (Figura 13) (Ubero, 2009).

Figura 13. Morfología de Diplopoda.



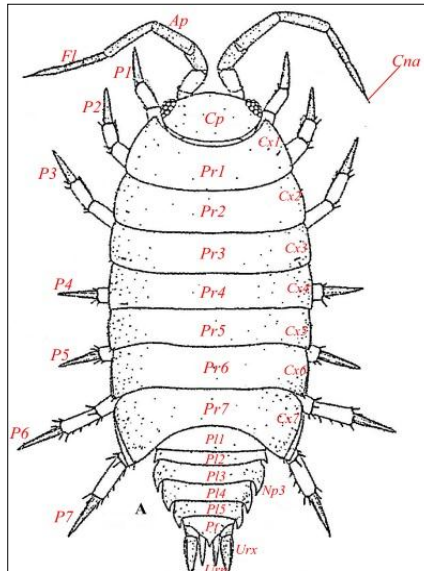
Fuente: Ubero(2009).

Los milpiés funcionan como fragmentadores de la materia orgánica y son importantes para la descomposición primaria de todas las formas de detritus (Ausmus, 1977; Rawlins *et al.*, 2006; Snyder *et al.*, 2009).

Clase Crustacea. Los Crustacea son responsables de la bioturbación en unos pocos ambientes terrestres y sus efectos son especialmente visibles en suelos tropicales (Butler, 1995; citado por Lavelle y Spain, 2001).

Orden Isopoda. Su tamaño varía desde unos pocos milímetros a 1-2 cm y su peso fresco es de unos pocos miligramos (Warburg, 1987; citado por Lavelle y Spain, 2001). En la Figura 14 se presentan las principales características morfológicas en los Isopoda Oniscidea.

Figura 14. Principales características en los Isopoda Oniscidea.



Ap: pedúnculo de la antena; Fl: flagelo de la antena; Cna: órgano apical (cono antenal distal); Cp: cefalotórax; Pr1-Pr7 (= pereión): pereionitos 1 a 7; Cx1-Cx7: placas coxales 1 a 7; Pl1-Pl5 (= pleón): pleonitos 1 a 5; Np3: neopleura 3; Urx: exópodo del urópodo; Urn: endópodo del urópodo.

Adaptado de Pérez-Schultheiss (2010).

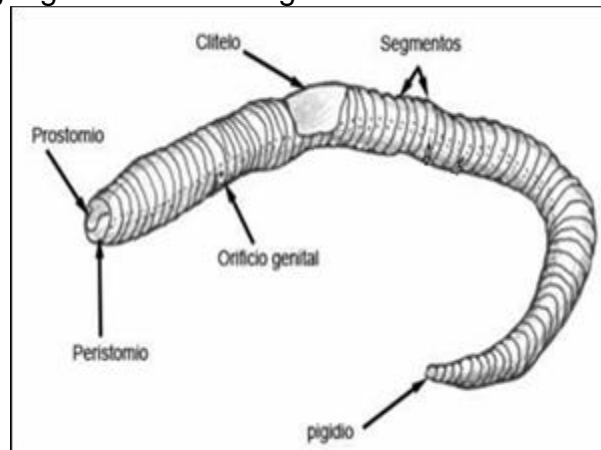
La mayoría de las especies son altamente susceptibles a la pérdida de agua y por lo tanto se limitan a hábitats húmedos y protegidos, aunque unas pocas especies resistentes a la sequía colonizan hábitats desérticos. También tienen poca resistencia a las bajas temperaturas. Como resultado de ello, están ausentes en suelos de tundra y, en ambientes templados, tienen largos períodos de inactividad durante el invierno (Lavelle y Spain, 2001). Los Isopoda pueden vivir por varios años. Son saprófagos que ingieren preferentemente materiales en descomposición con un contenido bajo en fenoles (Neuhauser y Hartenstein, 1978; citados por Lavelle y Spain, 2001). Debido a sus altas abundancias en ciertos hábitats y a sus características biológicas, los Isopoda terrestres son frecuentemente analizados en estudios ecológicos y se les considera como organismos interesantes desde diversos puntos de vista, entre ellos su utilidad como bioindicadores de impacto ambiental y antrópico (Dallinger *et al.*, 1992; Paoletti y Hassall, 1999), y como organismos modelos de investigación (Lardies y Bozinovic, 2008).

1.2.4.2 Phylum Annelida. Una característica sobresaliente de este filo, es la división de su cuerpo en una serie de segmentos que se repiten longitudinalmente. Por fuera, estos segmentos se manifiestan como depresiones anulares de la superficie. La segmentación representa unas ventajas en materia de locomoción,

porque los compartimientos corporales, cada uno de los cuales está gobernado por músculos independientes, son colectivamente capaces de movimientos más complejos que los que se observan en los gusanos no segmentados (Audesirk *et al.*, 2003).

Clase Oligochaeta. Las lombrices de tierra pertenecen a esta clase. Presentan segmentaciones homónomas, tan solo interrumpidas por el clitelo. Dorsalmente se observa el prostomio como un pequeño lobulito por encima de la boca. Ésta, como siempre, aparece en el peristomio. Los Oligochaeta carecen de podios, pero cada segmento lleva cuatro pares de setas. También se observa el orificio genital. Al final del tercio anterior del cuerpo se diferenciará, en la mayor parte de los ejemplares, el clitelo, como una región claramente engrosada y destacada del resto del cuerpo. Su posición exacta depende de la especie que se estudie. Al final del cuerpo del animal, en el último segmento, se encuentra el ano (Figura 15) (Ubero, 2009).

Figura 15. Morfología general clase Oligochaeta.



Adaptado de Ubero (2009).

En particular, las lombrices son organismos clave que pueden afectar significativamente las comunidades microbianas y las propiedades físico-químicas del suelo. Por ejemplo, las lombrices entierran y redistribuyen la hojarasca en la superficie y dentro del perfil del suelo, sus desechos metabólicos tales como la orina, sustancias mucosas y tejidos mejoran la disponibilidad de carbono (C) y nitrógeno (N) (Edwards y Bohlen, 1996; Binet *et al.*, 2006). Las lombrices digieren la materia orgánica empleando enzimas producidas por ellas mismas y mediante la microflora mutualista que se encuentra en su tracto digestivo. Los efectos causados por las lombrices en la dinámica de la materia orgánica dependen de las escalas espacio-temporales consideradas. En un intervalo corto, por ejemplo, de

unas horas, la digestión de la lombriz rompe los residuos orgánicos y libera algunos nutrientes, como el nitrógeno (N) y el fósforo (P), que pueden entonces ser asimilados por las plantas (Lavelle *et al.*, 1992; Sharpley y Syers, 1976). En periodos intermedios (de días a meses), se altera la dinámica de la materia orgánica en el interior de las estructuras biogénicas. En un periodo más largo se produce un descenso en la tasa de mineralización de la materia orgánica hasta llegar a la inmovilización del proceso (Martin, 1991). No se conoce aún el efecto general a largo plazo (de años a décadas), porque no se han realizado experimentos tan prolongados (Lavelle, 1997).

1.2.4.3 Phylum Mollusca. La importancia edáfica de estos organismos radica en el aporte de grandes cantidades de residuos vegetales desmenuzados, macerados y pre-digeridos, como un preámbulo al desarrollo de los ciclos bioedafológicos. La producción de sus abundantes secreciones mucosas propicia la formación de agregados del suelo muy bien estructurados y estables a la acción del viento y del agua; en estas condiciones el material mucoso se convierte en un medio propicio para el asentamiento y desarrollo de la microflora del suelo (Chamorro, 2001). Las agrupaciones de caracoles varían entre los tipos de bosques y lugares porque están relacionados con las condiciones climáticas del bosque (Baur y Baur, 1993). Su abundancia y diversidad está correlacionada con las características del suelo, como el valor del pH (Gärdenfors *et al.*, 1995; Wäreborn, 1992) y el contenido de calcio de la capa orgánica del suelo. (Hotopp, 2002). Otros factores que los afectan son la humedad del suelo (Locasciulli, 1987), el espesor de las capas de hojarasca (Burch, 1955; Corsmann, 1990; citados por Kappes *et al.*, 2006), y la presencia de estructuras como afloramientos (Nekola, 1999) o troncos de árboles (Corsmann, 1990; citado por Kappes *et al.*, 2006).

Clase Gastropoda. La clase Gastropoda conforma el grupo más diversificado de los Mollusca. Se divide en tres subclases: Prosobranquia, Opisthobranquia y Pulmonata. Las dos primeras son casi exclusivamente marinas, con unos pocos representantes en agua dulce y en el ambiente terrestre, en tanto que los Pulmonata son predominantemente terrestres, muchos de ellos de hábitos arborícolas y de agua dulce. Los pulmonados terrestres, la mayoría de los caracoles y babosas pertenecen al orden Stylommatophora (Götting 1974; citado por Vera, 2008). Esta clase ha sido pobremente estudiada, especialmente en algunas regiones del globo, entre ellas el norte de Suramérica. A esta situación se suma la escasez de colecciones malacológicas y el reducido apoyo institucional que se ha brindado a estudios sistemáticos y de relevamiento de invertebrados. A pesar de los esfuerzos de conservación actuales, existe una acelerada pérdida y modificación de los hábitats naturales, por lo que muchas especies de gasterópodos terrestres poco conocidas ó aún por conocer se encuentran seriamente amenazadas de extinción (Kay 1995; citado por Vera, 2008). En Colombia las contribuciones acerca de malacofauna terrestre, son más escasas y

fragmentarias y se han centrado en inventarios locales (Gómez *et al.*, 2004; Hausdorf, 2002; 2003; Vera-Ardila y Linares, 2005).

En el Cuadro 1 se presenta un resumen de la clasificación taxonómica de los principales grupos de organismos del suelo.

Cuadro 1. Principales grupos taxonómicos del suelo.

PHYLLUM	SUPER-CLASE	CLASE	ORDEN
ARTHROPODA		Arachnia	Araneae
			Acari
	Myriapoda	Chilopoda	
		Diplopoda	
		Crustacea	Isopoda
		Insecta	Collembola
			Coleoptera
			Hymenoptera
			Isoptera
			Lepidoptera
			Orthoptera
			Diptera
			Dermaptera
			Hemiptera
ANNELIDA			Oligochaeta
MOLLUSCA		Gastropoda	

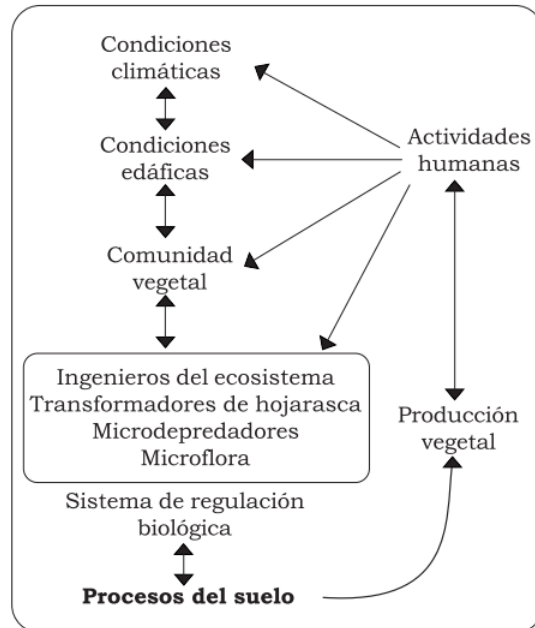
Adaptado de Zerbino (2010).

1.3 LAS RELACIONES DE LA MACROFAUNA Y EL HABITAT.

Los procesos del suelo están explicados mediante una serie de factores que están determinados, dentro de la jerarquía, por escalas de espacio y de tiempo. Según el modelo jerárquico propuesto por Lavelle *et al.* (1993), todos los procesos del suelo, es probable que estén influenciados, en primer lugar por el clima y luego por las propiedades del suelo que operan en las grandes escalas, seguido de la calidad y cantidad del material producido por las comunidades de plantas, y las fuentes de energía y nutrientes que estas aportan, y finalmente por el sistema biológico de regulación, es decir una amplia asociación de macroorganismos (invertebrados) con microorganismos que operan a escalas locales (Lavelle *et al.*, 1993). Esta es, sin embargo, una jerarquía de potencial en la que todos los niveles interactúan, y en algunas situaciones cuando los factores del nivel superior no son particularmente restrictivos, tales como la calidad de los insumos orgánicos, o la presencia y la actividad de los principales grupos de invertebrados pueden ser

determinantes importantes de los procesos (Lavelle, 1996). El modelo jerárquico se observa en la Figura 16.

Figura 16. Modelo jerárquico de la función del suelo.



Fuente: Jiménez *et al.* (2003).

1.4 PATRONES DE BIODIVERSIDAD DEL SUELO A NIVEL DE PAISAJE.

A nivel del paisaje, los patrones de la biota edáfica están muy relacionados con factores tales como los patrones del suelo y la topografía, las perturbaciones y los parches de vegetación. A nivel local, por ejemplo las diferencias en la calidad de hojarasca entre las diferentes especies arbóreas coexistentes, producen zonas de influencia que explican la distribución por nichos, de organismos del suelo y de tasas de los diferentes procesos (Saetre y Bääth, 2000; citados por Bardgett, 2005). Este comportamiento de la biota edáfica es similar en ecosistemas semiáridos, en donde los patrones de la biodiversidad del suelo están fuertemente relacionados con el patrón espacial de la vegetación. En estos sitios, la biodiversidad en el suelo debajo de las plantas es mayor que en el suelo adyacente expuesto, sugiriendo que las plantas sirven como "islas de recursos", ofreciendo recursos para la biota del suelo (Herman *et al.*, 1995; citados por Bardgett, 2005). Una situación contraria se presenta en ecosistemas donde la vegetación es escasa, los factores abióticos son los que determinan los patrones espaciales de la biodiversidad del suelo.

Otro factor importante que afecta la distribución de la biodiversidad del suelo a nivel de paisaje, es la perturbación física, que generalmente conduce a reducciones dramáticas en la biodiversidad del suelo. En este caso se ha demostrado que la labranza del suelo y los cambios de vegetación natural a agricultura reducen la diversidad de la biota edáfica. Las prácticas de preparación del terreno, como por ejemplo la deforestación, las quemas y el cultivo, y la reducción en la cantidad y complejidad de los residuos orgánicos regresados al suelo, parecen ser los factores más importantes (Beare *et al.*, 1997; citados por Bardgett, 2005). Sin embargo, las perturbaciones no siempre tienen efectos negativos sobre la biota del suelo, algunos suelos perturbados pueden tener comunidades edáficas altamente diversas, especialmente cuando las perturbaciones estimulan la heterogeneidad espacial, de esta manera existirán más oportunidades para que las especies puedan coexistir (Bardgett, 2005).

1.5 PATRONES LOCALES DE LA BIODIVERSIDAD DEL SUELO.

Los patrones de la biodiversidad del suelo a escala local, a lo largo de centímetros a metros, al parecer están relacionados con la heterogeneidad del hábitat, en términos tanto de la complejidad estructural, o los parches, del ambiente edáfico y de la complejidad química de los recursos. La variabilidad del suelo a nivel de su estructura y composición ofrece sistemas edáficos heterogéneos para que los organismos establezcan nichos y puedan coexistir (Ettema y Wardle, 2002).

Es importante tener en cuenta que las especies animales edáficas también difieren marcadamente en su respuesta a factores abióticos, con gran variación entre las especies en su tolerancia a la humedad del suelo, la disponibilidad de nutrientes, y la sequía (Verhoef y van Selm, 1983; Scheu y Schultz, 1996; Bongers y Bongers, 1998; citados por Bardgett, 2005), lo cual puede determinar la distribución espacial y temporal específica por especies en el suelo.

A nivel general, las variaciones en la heterogeneidad espacial y temporal del entorno suelo, desde la escala de partículas del suelo hasta la escala de un horizonte del suelo, acopladas con la increíble especialización de la biota edáfica, actúan como el mayor determinante de los patrones de la diversidad del suelo a escala local (Bardgett, 2005). Las comunidades edáficas también responden a patrones temporales de distribución debido a que estas comunidades tienen un grado de cambio a lo largo del tiempo, también dependen altamente del contexto, variando debido a múltiples factores, tales como la naturaleza y la frecuencia de los regímenes de perturbación, de cambios de vegetación, y de cambios en las condiciones edáficas y climáticas (Bardgett, 2005).

1.6 LA FERTILIZACIÓN EN PLANTACIONES DE *E. grandis*.

La fertilización puede acelerar el crecimiento aéreo y radical de las plantas, modifica el contenido de nutrientes para luego cambiar la cantidad de reservas disponibles, mejorando el enraizamiento en el terreno y el crecimiento, la resistencia al estrés hídrico, a bajas temperaturas y enfermedades (Van den Driessche, 1992; Shaw *et al.*, 1998; Malik y Timmer, 1998). Según diversos autores (Navarro y Pemán, 1997; Monsalve *et al.*, 2009), la concentración de cada nutriente en la solución del medio de cultivo es el aspecto más importante en un programa de fertilización. Una concentración demasiado baja reduce el crecimiento, mientras que concentraciones altas producen excesos de salinidad y afectan el crecimiento y calidad de las plantas (Monsalve *et al.*, 2009).

2. METODOLOGÍA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La investigación fue desarrollada en cuatro fincas plantadas con *Eucalyptus grandis* de propiedad de la compañía Smurfit Kappa Cartón de Colombia como se observa en el Cuadro 2. El estudio se realizó desde el mes de marzo de 2010 hasta febrero de 2011, tiempo en el cual se realizaron 6 muestreos en cada una de las fincas.

Finca Chupillauta: localizada en el departamento del Cauca en el municipio de Popayán, con una altitud de 1736 m.s.n.m.

Finca El Pital: está localizada en el Departamento del Cauca en el municipio de Cajibío, tiene una altitud de 1793 m.s.n.m.

Finca Don Miguel: localizada en el departamento del Cauca en el municipio de Sotará, está ubicada a 2539 m.s.n.m.

Finca Rancho Grande: Localizada en el departamento del Valle del Cauca en el municipio de Restrepo, tiene una altitud de 1455 m.s.n.m.

Las parcelas en las cuatro fincas estaban conformadas por árboles de *E. grandis* sembrados a distancias de 3m X 3m, el estudio fue realizado cuando las plantaciones tenían entre 8 y 9 años de edad. Se recolectó información dasométrica cada dos meses del número de individuos en pie por tratamiento, y fueron medidas las variables diámetro a la altura del pecho (D.A.P) y altura total.

Cuadro 2. Distribución del área de investigación.

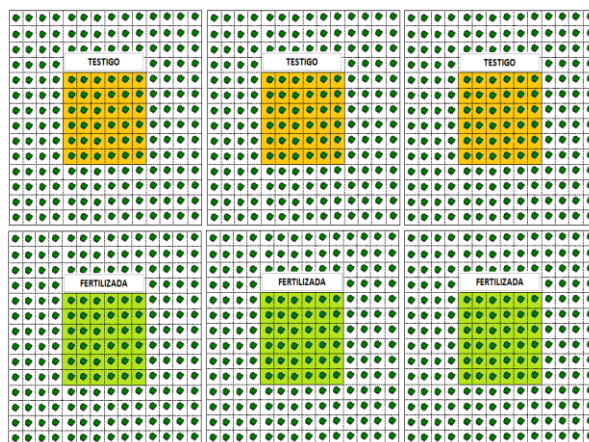
FINCA	CHUPILLAUTA	EL PITAL	DON MIGUEL	RANCHO GRANDE
ZONA	Sur	Sur	Sur	Centro
MUNICIPIO	Popayán	Cajibío	Sotará	Restrepo
NUCLEO	Meseta	Meseta	Salinas	Restrepo
LATITUD	2° 31' 01" N	2° 35' 43" N	2° 17' 27" N	3° 51' 43" N
LONGITUD	76° 37' 17" W	76° 35' 15" W	76° 39' 46" W	76° 30' 48" W
ELEVACIÓN (msnm)	1736	1793	2539	1455
FECHA PLANTACIÓN	Dic-01	May-02	Nov-02	May-02

2.1.1 Diseño y selección del área de muestreo. La selección y establecimiento de las parcelas de estudio fueron realizados por personal de la compañía Smurfit Kappa Cartón de Colombia.

El diseño experimental en las fincas fue de bloques completos al azar generalizados, ya que de acuerdo a Steel y Torrie (1988), no hay restricción en cuanto al número de tratamientos o de bloques. Si se desea usar repeticiones adicionales para ciertos tratamientos, estos se pueden aplicar a dos o más unidades por bloque con aleatorización adecuada para dar un diseño de bloque completo al azar generalizado. Para el caso de la investigación, se presentan varias réplicas de los tratamientos dentro de los bloques, para el desarrollo de este estudio cada bloque corresponde a una finca.

Se manejaron cuatro bloques y dos tratamientos, las parcelas de cada bloque tuvieron un área externa de 1764 m², con el fin de contrarrestar el efecto de borde, fueron delimitadas al interior con un área de 324 m², en la Figura 17 se aprecia el área interna y externa de las parcelas de estudio. Cabe resaltar que en la finca Chupillauta no se estableció una de las parcelas fertilizadas y que en todas las parcelas los árboles estaban marcados, lo que facilitó los muestreos.

Figura 17. Diseño de parcelas en las fincas Chupilluata, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande.



El análisis de suelo más cercano con el que cuenta esta investigación fue realizado por la empresa Smurfit Kappa Cartón de Colombia en junio de 2011, las muestras de suelo para dicho análisis fueron recolectadas con un barreno rotativo a 20 cm de profundidad, las muestras se tomaron tanto de las parcelas fertilizadas como de las testigo, y una vez recolectadas se tamizaron y se empacaron para ser

llevadas al laboratorio. Los resultados del análisis de suelos se presentan con detalle en el Anexo A y B. Este estudio también cuenta con la clasificación a nivel de órdenes del suelo, que fue realizada en el año 2002, los órdenes taxonómicos por finca se observan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Orden Taxonómico de los suelos de las fincas Chupillauta, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande.

FINCA	UNIDAD DE SUELO	ORDEN TAXONÓMICO
CHUPILLAUTA	Pubenza (Pb)	Andisol y Alfisol
PITAL	Pubenza (Pb)	Andisol y Alfisol
DON MIGUEL	Salinas (Sl)	Andisol
RANCHO GRANDE	Restrepo (Rp)	Inceptisol

2.1.2 Tratamientos. La investigación estudió dos tratamientos, el primero parcelas no fertilizadas (testigo) y el segundo parcelas fertilizadas en las que se aplicaron por hectárea 180 Kg de nitrógeno, 20 Kg de fósforo y 2 Kg de boro. Después de la siembra de las parcelas, se fertilizó cada 24 meses con la dosis mencionada anteriormente. En el Cuadro 4 se presentan con mayor detalle las fechas de plantación, última fertilización, primer muestreo y el tiempo transcurrido entre la última fertilización y el primer muestreo.

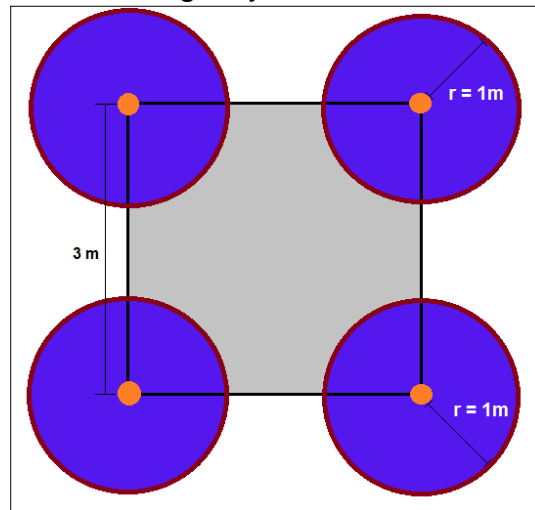
Cuadro 4. Fechas de plantación, última fertilización (UF) y primer muestreo (PM) en las fincas Chupillauta, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande.

FINCA	Plantación	Última Fertilización (UF)	Primer Muestreo (PM)	UF-PM (meses)
CHUPILLAUTA	Dic-2001	Dic-2007	Mar-2010	27
EL PITAL	May-2002	May-2008	Abril-2010	23
DON MIGUEL	Nov-2002	Nov-2008	Abril-2010	17
RANCHO GRANDE	May-2002	May-2008	Abril-2010	23

El fertilizante se aplicó al voleo, alrededor del árbol en las áreas planas, con una distancia de un metro lineal alrededor del fuste, la hojarasca se retiró con el pie para que el fertilizante quedara en contacto con el suelo húmedo. En áreas pendientes se aplicó en media luna, por la parte superior de la ladera a un metro de distancia. Estas actividades se realizaron en época de lluvia. En la Figura 18, el color naranja representa los árboles de *E. grandis*, el color azul indica el área de

aplicación del fertilizante (radio=1m) y el color gris muestra la zona comprendida entre cuatro árboles sembrados a distancias de 3 m X 3 m.

Figura 18. Área de aplicación del fertilizante en parcelas de *E. grandis* en las fincas Chupillauta, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande.



2.2 MUESTREO DE MESOFAUNA Y MACROFUANA.

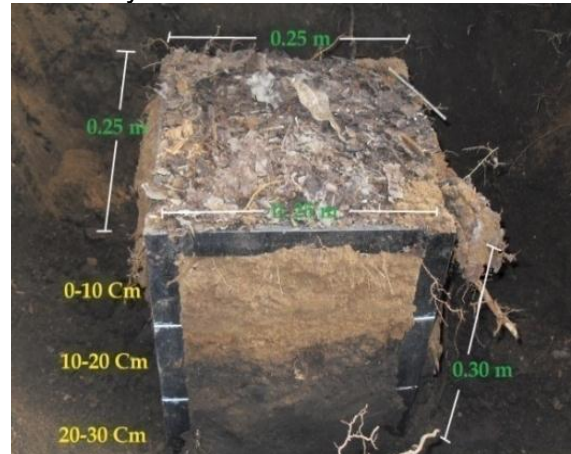
El muestreo de la mesofauna y macrofauna se desarrolló de manera similar a la metodología del monolito de suelo recomendada por el Instituto de Fertilidad y Biología de Suelos Tropicales (TSBF) esta metodología consiste en extraer unas columnas o monolitos de suelo con dimensiones de 0,25 x 0,25 m y 0,30 m de profundidad (Anderson e Ingram, 1993; Lavelle *et al.*, 1994). La metodología del TSBF fue diferente en esta investigación con relación a la intensidad de los muestreos ya que se extrajo un monolito de suelo por tratamiento, al igual que en el estudio realizado por Cerón *et al.* (2008).

2.2.1 Intensidad de los muestreos. La investigación se desarrolló entre marzo de 2010 y febrero de 2011, las fincas fueron muestreadas cada dos meses durante un año de acuerdo al cronograma de actividades concertado con la empresa Smurfit Kappa Cartón de Colombia. En cada muestreo se extrajo un monolito de suelo por tratamiento.

2.2.2 Trabajo en campo. Para extraer el monolito de suelo se utilizó un molde metálico de 0,25 X 0,25 m y que abarca hasta una profundidad de 0,30 m, como lo

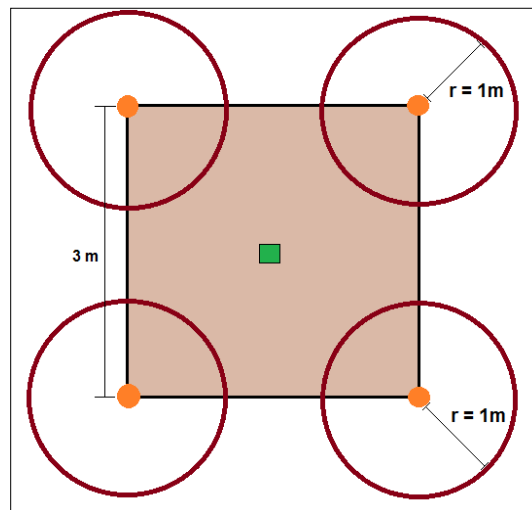
diseñó y empleó Pardo-Locarno (2009). El molde estuvo marcado cada 10 cm, para obtener tres estratos: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm (Figura 19).

Figura 19. Monolito de suelo y molde metálico con dimensiones.



La localización de las áreas de recolección de los monolitos de suelo se realizó de forma aleatoria, cada punto de extracción fue marcado en un croquis, así, se evitó repetir los puntos de extracción. El monolito se extrajo del área comprendida entre el cuadrado que forman cuatro árboles sembrados cada 3 m, con el fin de no afectar el sistema radical de los árboles y también por que las raíces principales son difíciles de cortar y desmoronan el monolito. En la Figura 20, el color naranja representa a los árboles de *E. grandis* y el color verde indica el lugar de donde se extrajo el monolito de suelo.

Figura 20. Área de extracción del monolito de suelo.



La extracción del monolito de suelo se realizó con la ayuda de dos operarios de la empresa Smurfit Kappa Cartón de Colombia, una vez insertado el molde metálico con un mazo de madera obtenido en la plantación, se delimitó el molde dentro del suelo con palines y palas, posteriormente el monolito se tendió sobre una bolsa plástica con un machete se separaron los estratos del suelo. Las submuestras correspondientes a los tres estratos de cada monolito se depositaron en bolsas plásticas de cierre hermético con un tamaño de 40 cm x 30 cm, estas bolsas fueron marcadas previamente con la siguiente información: fecha de muestreo, nombre de la finca, tratamiento y estrato, como lo muestra la Figura 21.

Figura 21. Submuestras de suelo empacadas en las bolsas plásticas con cierre hermético.



Posteriormente las submuestras fueron transportadas en bolsas plásticas negras hasta el laboratorio de la facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, posteriormente se almacenaron en nevera a una temperatura de 4 °C.

2.2.3 Trabajo en laboratorio. En el laboratorio, las submuestras de suelo se depositaron en bandejas metálicas de color blanco (Figura22), posteriormente se realizó la extracción de las comunidades edáficas de forma visual-manual, utilizando pinceles, pinzas, lupas y cajas de Petri, algunas de estas herramientas se observan en la Figura 23.

Figura 22. Extracción de la fauna del suelo.



Figura 23. Herramientas para la extracción de comunidades edáficas.



Al igual que Decaëns *et al.* (2003), los organismos de cuerpo duro se depositaron en recipientes con etanol al 70 % y los de cuerpo blando como las lombrices se fijaron en formol al 4%, todos los recipientes se rotularon con la siguiente información: fecha de muestreo, nombre de la finca, tratamiento, estrato y sustancia fijadora (etanol o formol) como lo muestra la Figura 24.

Figura 24. Almacenamiento de los insectos en los recipientes rotulados.



2.2.4 Identificación y cuantificación de los organismos. La identificación de las comunidades edáficas se llevó a cabo en el laboratorio de recursos hidrobiológicos de la Universidad del Cauca.

Antes de iniciar esta etapa fue necesario limpiar a los organismos, este proceso se llevó a cabo de la siguiente forma: los organismos de cada recipiente se depositaron en una caja de petri envuelta por papel absorbente, de esta forma la servilleta absorbió la sustancia fijadora, así, a los organismos se les pudo retirar de manera parcial y con la ayuda de punzones los restos de suelo, raíces y hojarasca que tenían adheridos al cuerpo. En el laboratorio se dispusieron 2 estereoscopios de marca Motic, modelo SMZ-168 como se aprecia en la Figura 25, estos equipos tienen una capacidad de aumento de 50X.

Figura 25. Estereoscopio Marca Motic, Modelo SMZ-168.



Los organismos de cada recipiente se depositaron en una caja de petri, fueron manipulados con punzones y pinzas para ser identificados en el estereoscopio (Figura 26).

Figura 26. Elementos utilizados para la identificación.



Todos los organismos recolectados fueron identificados como pertenecientes a unidades taxonómicas (UT) amplias (orden), al igual que en estudios realizados por autores como Marín y Feijoo (2007), Mathieu *et al.* (2005), Zerbino (2005), Decaëns *et al.* (2003) y Feijoo *et al.* (2003), y también se tuvo en cuenta el tamaño corporal de la biota del suelo a nivel de meso y macrofauna propuesta por Swift *et al.* (1979) citados por Bardgett (2005), cabe resaltar que en varios casos las UT estuvieron compuestas por organismos que pertenecían tanto a la mesofauna como a la macrofauna.

Identificar los ejemplares a nivel de especie es una tarea que requiere de conocimiento y experiencia en el tema, por esta razón no fue posible llegar a tal clasificación, esta situación dificultó el cálculo de índices de diversidad, sin embargo algunos individuos fueron identificados a nivel de familia.

Se utilizaron diferentes claves taxonómicas para la identificación de la mesofauna y macrofauna entre ellas se mencionan a Wolff (2006), Coronado y Márquez (1996), Flórez (1996), Davies (1991), Ross (1982), Carrera (1973), Peterson (1960).

En los Anexos C al E se presentan fotografías tomadas durante la etapa de identificación con una cámara convencional de algunas de las UT entre ellas se encuentran coleóptera, Acari, Araneae y otros invertebrados.

2.2.5 Estimación de biomasa de comunidades edáficas. La estimación de biomasa se realizó en el laboratorio de recursos hidrobiológicos de la Universidad del Cauca.

Una vez identificados los organismos a nivel de unidades taxonómicas se pesaron en una balanza analítica marca Mettler AJ-100 (con precisión de cuatro decimales) (Figura 27), antes de iniciar este proceso se debe tener en cuenta que la balanza debe estar bien calibrada para obtener mayor precisión en los valores. Los organismos se pesaron sobre una pequeña lámina de papel aluminio con dimensiones de 5cm X 5cm. La biomasa se cuantificó en las unidades gramos.

Figura 27. Balanza analítica Mettler AJ-100.



Cuando los organismos se fijan en formol y etanol pierden peso y es necesario corregir los valores de biomasa con los siguientes porcentajes: para las lombrices 19%, hormigas y termitas 9%, Coleoptera 11%, Arachnida 6% y 13 % para el resto de macroinvertebrados (Deçaëns *et al.*, 2003).

En el laboratorio se observó que los organismos recolectados tenían ciclos biológicos diferentes, lo que se evidenció en tamaños y pesos muy variables, por

ejemplo, en los Coleoptera se identificaron organismos tanto adultos como en estado larval.

2.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Con los datos obtenidos se generó una base de datos diseñada en una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel, en la cual se incluyó información correspondiente a fechas de muestreo, finca, tratamientos, precipitación, altitud y unidades taxonómicas colectadas, abundancia y biomasa de UT. Posteriormente dicha información fue analizada en el software SPSS 11.5, donde se aplicaron pruebas para determinar la distribución de los datos, las diferencias entre los tratamientos y la relación entre la precipitación-altura sobre el nivel del mar y las UT.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La macrofauna encontrada pertenece a dos Phylla: Annelida y Arthropoda. El Phylum Annelida está constituido por la clase Oligochaeta, el Phylum Arthropoda está constituido por Chilopoda, Diplopoda, Malacostraca e Insecta.

Los organismos colectados fueron identificados como pertenecientes a unidades taxonómicas amplias (UT). Se contaron y agruparon en diez grupos de acuerdo a la abundancia; cabe resaltar que de las UT definidas algunas estuvieron compuestas solo por macrofauna o mesofauna y en otros casos por ambas. Las UT: lombrices, Coleoptera (adultos y larvas), Diplura, hormigas (orden Hymenoptera), la clase Arachnida agrupó a las arañas y al orden pseudoescorpiones. Chilopoda, Diplopoda, Isopoda, Isoptera y “otros invertebrados”, en este último grupo se encuentran ordenes como: Hymenoptera, Dermaptera, Orthoptera, Acari, Phasmida, Hemiptera, Diptera y larvas de Lepidoptera. Algunos Coleoptera en estado adulto y larval se lograron identificar a nivel de familia, entre las cuales se encuentran: Elateridae, Scarabaeidae y Chrysomelidae, del orden Lepidoptera se identificaron larvas de la familia Geometridae, en el orden Diplura se reconocieron dos familias: Japygidae y Campodeidae, y del orden Hemiptera se identificó la familia Reduviidae.

3.1 ABUNDANCIA RELATIVA DE UNIDADES TAXONÓMICAS EDÁFICAS EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus grandis*.

El cálculo de la abundancia relativa de UT presentes en suelos de plantaciones de *E. grandis* se realizó dividiendo el número de individuos por UT entre el total de individuos recolectados por finca. Las unidades de la densidad de los organismos corresponden al número de individuos por UT sobre metros cúbicos (m^3), el valor resulta de calcular el volumen del monolito de suelo multiplicado por el numero de muestreos ($0,112 m^3$).

En la finca Chupillauta y El Pital las lombrices fueron las UT más abundantes con 45,5% y 53,8% respectivamente. Las segundas UT más abundantes fueron los Diplura y las hormigas para cada finca, como se observa en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Densidad y abundancia relativa de unidades taxonómicas en las fincas Chupillauta y El Pital.

UNIDADES TAXONÓMICAS	CHUPILLAUTA		EL PITAL	
	Densidad (ind/0,112 m ³)	Abundancia Relativa	Densidad (ind/0,112m ³)	Abundancia Relativa
Lombrices	260	45,5	398	53,78
Coleoptera	55	9,6	57	7,70
Chilopoda	22	3,9	24	3,24
Hymenoptera	42	7,4	107	14,46
Arachnida	13	2,3	11	1,49
Isopoda	13	2,3	82	11,08
Diplopoda	21	3,7	11	1,49
Diplura	77	13,5	37	5,00
Isoptera	14	2,5	2	0,27
Otros	54	9,5	11	1,49
Número total	571		740	

En Don Miguel las lombrices fueron más abundantes seguidas de la UT Coleoptera (13,5%), mientras que en Rancho Grande las hormigas ocuparon el primer lugar con 46,67% seguidas de las lombrices con un 33,3%, como se aprecia en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Densidad y abundancia relativa de unidades taxonómicas en las fincas Don Miguel y Rancho Grande.

UNIDADES TAXONÓMICAS	DON MIGUEL		RANCHO GRANDE	
	Densidad (ind/0,112 m ³)	Abundancia Relativa	Densidad (ind/0,112 m ³)	Abundancia Relativa
Lombrices	254	45,68	30	33,33
Coleoptera	75	13,48	2	2,22
Chilopoda	63	11,33	2	2,22
Hymenoptera	48	8,63	42	46,67
Arachnida	15	2,68	4	4,44
Isopoda	5	0,90	1	1,11
Diplopoda	48	8,63	3	3,33
Diplura	11	1,98	2	2,22
Isoptera	0	0	1	1,11
Otros	37	6,65	3	3,33
Número total	556		90	

Es importante mencionar que de acuerdo con las observaciones realizadas en campo y en el laboratorio, la abundancia de las UT fue diferente de un monolito a otro, este comportamiento se debe a que los organismos del suelo presentan distribuciones diferentes en escala de centímetros a metros, aun cuando la

topografía y la textura del suelo sean relativamente uniformes. Los patrones espaciales de la biota del suelo a esta escala están estructurados principalmente por el crecimiento de la planta, y varían con el tamaño de la planta, la forma de crecimiento y el espaciamiento (Ettema y Wardle, 2002). También se debe considerar el efecto de la vegetación pasada que puede ser influyente a través de sus efectos a largo plazo en la materia orgánica actual del suelo (Seastedt y Adams, 2001). Además, la agregación espacial también se ve influida por los procesos intrínsecos de la población, tales como la dispersión, la reproducción y la competencia. Aunque estos procesos se producen principalmente en pequeña escala para la microbiota del suelo, en la macrofauna son más móviles. Rossi *et al.* (1997) encontraron que las lombrices de tierra en un potrero se distribuyeron de forma irregular sobre una distancia de 10-30 m, en este caso los huevos reflejaron una distribución agrupada y los adultos presentaron mayor dispersión.

El sitio de extracción del monolito de suelo, que comprende el centro del área comprendida entre 4 árboles sembrados a distancias de 3m (Figura 20) puede ser otro factor determinante cuando se analiza la abundancia de las UT ya que se ha comprobado en otras investigaciones que las raíces también generan heterogeneidad en el suelo, a través de efectos sobre la estructura física de los suelos, y también mediante su muerte y su descomposición, y especialmente a través de la exudación de compuestos fácilmente degradables que representan una fuente de nutrientes de alta calidad para el crecimiento y el mantenimiento de los microorganismos de la rizósfera (Whipps y Lynch, 1983; citados por Bardgett, 2005) que son presas para protozoarios y Nematoda (Bardgett y Griffiths, 1997; citados por Bardgett, 2005). Por lo tanto se esperaría que en monolitos extraídos muy cerca a las raíces la abundancia de las UT aumente ya que el alimento de la meso y macrofauna estaría concentrado en esta zona, sin embargo hasta el momento en plantaciones de *E. grandis* este estudio no se ha realizado.

En todas las áreas de estudio se recolectaron lombrices, especialmente en las fincas localizadas en el departamento del Cauca, posiblemente porque los suelos de las plantaciones de *E. grandis* ofrecieron mejores condiciones para su desarrollo, estos suelos están clasificados dentro del orden andisoles y alfisoles. Sin embargo, una investigación realizada en andisoles de la Sabana de Bogotá no reportó presencia de lombrices en suelos que estaban bajo plantaciones forestales como: *Pinus sp.*, *Eucalyptus sp.* y *Cupressus sp.* (Cortés *et al.*, 1990; citado por Jaramillo, 2002).

3.2 COMPARACIÓN ENTRE LOS TRATAMIENTOS DE ACUERDO A LA ABUNDANCIA Y BIOMASA DE LAS COMUNIDADES EDÁFICAS PRESENTES EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus grandis*.

Las variables correspondientes al número de individuos por unidad taxonómica y biomasa fueron sometidas inicialmente a la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, como resultado se obtuvo que las variables no se ajustan a una distribución normal, por lo tanto se intentó normalizar los datos con fórmulas recomendadas por Navidi (2006), sin éxito alguno, por esta razón se descartó la normalización de los datos y en adelante se trabajó con pruebas no paramétricas. La comparación entre los tratamientos se realizó mediante el análisis de varianza no paramétrico para muestras independientes (prueba de Kruskal-Wallis), al igual que en los estudios de Sanabria y Chacón de Ulloa (2011), Feijoo *et al.* (2010), Méndez *et al.* (2009) y Ceballos (2007), los resultados fueron analizados con un nivel de significancia del 0,05 (valor-p 0,05) y una confiabilidad del 95%. De dicha comparación se concluyó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos en términos de abundancia y biomasa de UT; lombrices, Coleoptera, Diplopoda, Chilopoda, hormigas, Isopoda, Arachnida, Isoptera, Diplura y otros invertebrados como se observa en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Significancia de la prueba de Kruskal-Wallis para la comparación de abundancia y biomasa de acuerdo al tratamiento.

UNIDADES TAXONOMICAS	SIGNIFICANCIA (valor-p)	
	ABUNDANCIA	BIOMASA
Lombrices	0,847	0,748
Coleoptera	0,619	0,958
Chilopoda	0,062	0,205
Hymenoptera	0,520	0,480
Arachnida	0,754	0,860
Isopoda	0,989	0,871
Diplopoda	0,475	0,456
Diplura	0,089	0,105
Isoptera	0,076	0,082
Otros	0,162	0,286

Este resultado puede tener explicación si se tienen en cuenta lo siguiente: el método de aplicación del fertilizante, la distancia de aplicación del fertilizante respecto al árbol, el área de donde se extrajo el monolito de suelo y el tiempo transcurrido desde la última fertilización hasta el primer muestreo de meso y macrofauna en las plantaciones de *E. grandis*. Como ya se había mencionado en

zonas planas, el fertilizante se aplicó al voleo, alrededor del árbol, con una distancia de un metro lineal alrededor del fuste, la hojarasca se retiró con el pie para que el fertilizante quedara en contacto con el suelo húmedo. En áreas pendientes se aplicó en media luna, por la parte superior de la ladera a un metro de distancia del fuste, en la Figura 18 se observa la distancia y el área de aplicación del fertilizante. El monolito se extrajo del centro del área que forman cuatro árboles sembrados a distancias de 3m X 3m, para no afectar el sistema radical de los árboles como se observa en la Figura 20. En promedio desde la última fertilización hasta el primer muestreo habían transcurrido 22 meses. Por lo cual las parcelas no presentarían signos de los efectos de la fertilización.

Además, la distribución de la biota del suelo es muy variable y puede cambiar inclusive de metros a centímetros debido a procesos como la reproducción y la competencia entre individuos, en este caso la macrofauna, al presentar mayor movilidad, alcanza mayores distancias (Rossi *et al.*, 1997). El grado de descomposición de la hojarasca es un factor importante, ya que algunos estudios han demostrado que la diversidad de la biota edáfica tiende a disminuir cuando el recurso tiene mayor grado de descomposición (Hansen, 2000; citado por Bardgett, 2005). También la tolerancia de las comunidades edáficas a los factores abióticos como la humedad del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la sequía (Verhoef y van Selm, 1983; Scheu y Schultz, 1996; Bongers y Bongers, 1998; citados por Bardgett, 2005), determina patrones de distribución tanto espaciales como temporales para organismos específicos.

El resultado de esta investigación coincide con los resultados encontrados por Zerbino (2010) en donde se evaluó el efecto de la fertilización sobre la biota del suelo en diferentes cultivos, de igual manera no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Estos resultados se deben a que los fertilizantes químicos no afectaron ni mejoraron las condiciones del hábitat y la disponibilidad de recursos para la macrofauna (Edwards y Lofty, 1982).

Entender el efecto de los fertilizantes sobre las comunidades edáficas de las plantaciones de *Eucalyptus grandis* a este grado, requiere de información específica del comportamiento de los primeros niveles tróficos que comprenden a los hongos, las bacterias y los nematodos que habitan el suelo de las plantaciones, investigación que hasta el momento no se ha realizado en las plantaciones estudiadas.

Algunas investigaciones concluyen que las adiciones de nitrógeno pueden acidificar el suelo e inhibir el crecimiento y la actividad microbiana, porque afectan la calidad de los microbios y la microflora del suelo que son fuente de alimento

para la mesofauna (Weil y Kroontje, 1979; citados por Neher y Barbercheck, 1999). Además, el efecto de la fertilización sobre la diversidad y abundancia de especies de microartrópodos genera también un impacto en los procesos de descomposición y mineralización de nutrientes que no son bien entendidos, por ejemplo, los fertilizantes sintéticos incrementan la diversidad de nematodos, pero las aplicaciones de estiércol la disminuyen (Waisilewska, 1989; Citado por Neher y Barbercheck, 1999).

De acuerdo con Root (1973) y Zerbino (2005) plantaciones afectan directa e indirectamente a la fauna del suelo. Los efectos directos están relacionados con la calidad y cantidad de la hojarasca, ya que los ambientes simplificados no proporcionan fuentes alternativas adecuadas de alimentación, refugio y reproducción. Por su parte, los efectos indirectos pueden incluir cambios en las condiciones microclimáticas como la temperatura, la humedad y en el ambiente físico (Bernhard y Huttel, 2001). Sin embargo, la acumulación de materia orgánica en el suelo de plantaciones forestales podría promover el establecimiento de otras especies (malezas), esta nueva diversidad de plantas podría mejorar el funcionamiento del suelo mediante el aumento de la diversidad de fuentes orgánicas para la biota del suelo (Bernhard y Huttel, 2001), actualmente la información de esta relación es limitada, pues no se han realizado estudios al respecto.

Algunos estudios comparan la diversidad y la abundancia de especies edáficas en sistemas homogéneos y en bosques naturales, por ejemplo Schroeder (1990); citado por Louzada *et al.* (1997) se refieren a los efectos negativos que pueden producir los agroecosistemas homogéneos, si se comparan con la vegetación nativa, por ejemplo puede verse comprometida la descomposición de hojarasca, estos efectos negativos pueden estar relacionados con la disminución de la calidad nutricional y la heterogeneidad de la hojarasca producida, el microclima del bosque y sus efectos combinados sobre la actividad y la abundancia de la fauna del suelo (Louzada *et al.*, 1997). De igual manera la FAO (2002) menciona que las comunidades edáficas son más abundantes y diversas en lugares donde la cobertura vegetal es diversa, el mantillo es más heterogéneo y como consecuencia hay un incremento de los recursos a ser colonizados, lo que determina un aumento de la diversidad de la fauna del suelo.

3.3 COMPARACIÓN DE LA ABUNDANCIA Y BIOMASA DE UT ENTRE LAS FINCAS.

Se compararon las fincas de acuerdo a la abundancia y biomasa de invertebrados (sin tener en cuenta el tratamiento), aplicando la prueba no paramétrica de Mann Whitney. El nivel de significancia fue de 0,05 y una confiabilidad del 95%. La comparación entre las fincas Chupillauta y El Pital mostró diferencias significativas entre las UT Diplura y otros invertebrados, entre las fincas Chupillauta y Don Miguel fueron diferentes las UT Diplopoda, Diplura e Isoptera. Mientras que entre las fincas Chupillauta y Rancho Grande se presentaron diferencias significativas entre las UT Coleoptera, Chilopoda, Hymenoptera, Arachnida, Diplura y otros invertebrados. Los niveles de significancia obtenidos se observan con detalle en el Anexo F. Entre tanto, en el Anexo G se presentan las diferencias entre las fincas El Pital y Don Miguel, donde solo hubo una diferencia significativa a nivel de Diplopoda, de igual manera El Pital y Rancho Grande presentaron diferencias entre las UT lombrices, Coleoptera, Chilopoda, Hymenoptera y Diplopoda. Por último las fincas Don Miguel y Rancho Grande fueron diferentes en las UT lombrices, Coleoptera, Chilopoda y Arachnida como lo muestra el Anexo H.

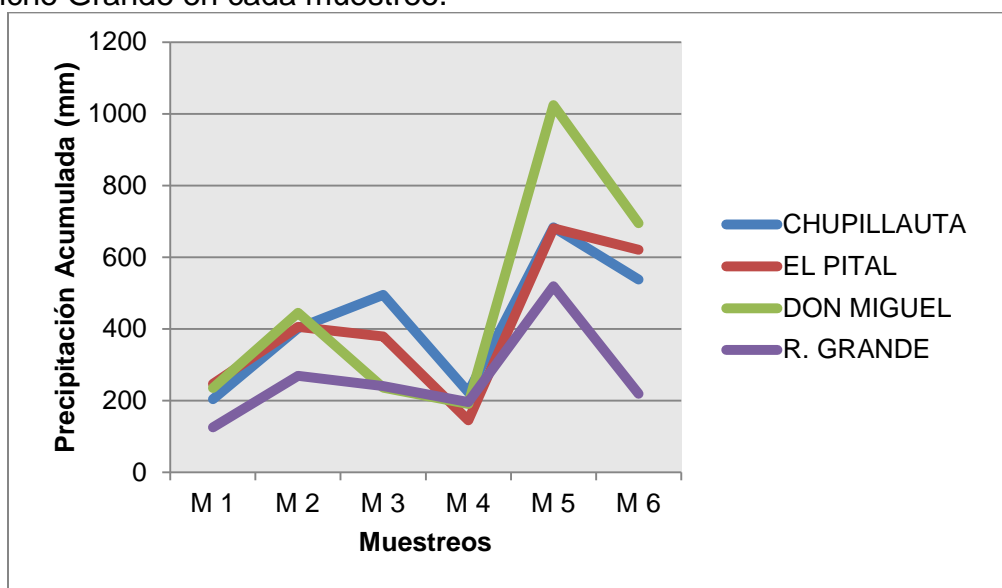
Por lo tanto, se observó que las fincas localizadas en el departamento del Cauca (Chupillauta, El Pital y Don Miguel) presentan menor número de diferencias a nivel de UT, caso contrario sucede con la finca Rancho Grande (Valle del Cauca) donde más unidades taxonómicas son diferentes respecto a las demás fincas. Cabe destacar que las fincas El Pital y Don Miguel solo fueron diferentes a nivel de Diplopoda.

Estas diferencias están relacionadas probablemente con los cambios en las características físicas y químicas de los suelos en cada sitio de estudio. Cambios asociados a la densidad aparente (DA) del suelo, el pH y el contenido de nutrientes en las parcelas de investigación. Sin embargo se debe tener en cuenta que la distribución de la biota del suelo cambia en una escala de metros a centímetros por procesos como la reproducción y la competencia (Rossi *et al.*, 1997).

3.4 CORRELACIONES ENTRE LA PRECIPITACIÓN Y LA FAUNA DEL SUELO PRESENTE EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus grandis*.

Los datos de precipitación fueron obtenidos de los pluviómetros que la compañía Smurfit Kappa Cartón de Colombia tiene localizados en las fincas, se tomó la precipitación acumulada de los dos meses anteriores a cada muestreo, como se observa en la Figura 28.

Figura 28. Precipitación acumulada de las fincas Chupillauta, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande en cada muestreo.



El análisis de correlaciones entre la precipitación y los invertebrados del suelo se realizó mediante el coeficiente de correlación de Spearman, con un nivel de significancia de 0,05 (valor-p=0,05), como se observa en el Cuadro 8. La precipitación frente a las lombrices y Coleoptera se correlacionó de manera significativa (valor-p=0,022) y positiva con un coeficiente de 0,33 ($r=0,33$) para ambas variables, es decir, que la precipitación influyó en un 33% sobre la abundancia de la población de las lombrices y los Coleoptera en los suelos con las plantaciones de *E. grandis*, también se encontraron correlaciones significativas (valor-p=0,033) entre la precipitación y la UT Isopoda con un coeficiente de 0,3. Esto indica que la abundancia de las lombrices y Coleoptera está condicionada parcialmente por la humedad del suelo, que aumenta con la temporada de lluvia y de esta forma facilita la descomposición de la hojarasca (Guerra, 1994; citado por Araujo y López, 1999).

Cuadro 8. Coeficiente de correlación de Spearman para UT y la precipitación.

UNIDADES TAXONÓMICAS	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (r)	SIGNIFICANCIA (valor-p)
Lombrices	0,330	0,022
Coleoptera	0,327	0,023
Chilopoda	0,237	0,104
Hymenoptera	0,259	0,075
Arachnida	0,085	0,566
Isopoda	0,309	0,033
Diplopoda	0,162	0,270
Diplura	-0,068	0,644
Isoptera	0,090	0,545
Otros	0,060	0,686

Dentro del análisis de las correlaciones entre la precipitación y las UT se debe tener en cuenta que las plantas (en este caso árboles de *E. grandis*) modifican la humedad mediante la interceptación del viento y la lluvia, y la absorción de agua en el suelo (Mathieu *et al.*, 2009). Como consecuencia de ello, se crean condiciones específicas de vida (Jackson y Caldwell, 1993), estas condiciones hacen que la macrofauna del suelo deba mantener su contenido de agua corporal dentro de unos límites bastante estrechos, lo que crea una dependencia del agua (Mathieu *et al.*, 2009). Autores como Lensing y Wise (2007) se refieren a los efectos de la lluvia sobre las comunidades edáficas, y aseguran que además de los efectos directos de la precipitación a través de la lixiviación, la lluvia también puede afectar indirectamente a los microorganismos y la fauna (Meentemeyer, 1978; Orchard y Cook, 1983; Tietema y Wessel, 1994; Vanlauwe *et al.*, 1995). Además las poblaciones de descomponedores primarios como bacterias y hongos y de igual manera los artrópodos, pueden verse afectados por las precipitaciones.

3.5 CORRELACIONES ENTRE LA ALTITUD Y LA FAUNA DEL SUELO PRESENTE EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus grandis*.

Las fincas Chupillauta y El Pital están ubicadas en la meseta de Popayán por lo que tienen una altura sobre el nivel del mar muy similar 1736 y 1793 m.s.n.m. respectivamente. La finca Don Miguel está localizada en el municipio de Sotará y presenta mayor altura sobre el nivel del mar con 2539 m.s.n.m. La finca Rancho Grande se encuentra ubicada en el departamento del Valle del Cauca en el municipio de Restrepo, con una altura de 1455 m.s.n.m., condiciones que influyen fuertemente en la precipitación recibida en la zona.

El análisis de correlaciones entre la precipitación y los invertebrados del suelo se realizó con el coeficiente de correlación de Spearman, con un nivel de significancia de 0,05 y una confiabilidad del 95%. Se identificaron correlaciones entre la altitud y las lombrices con un $r = 0,34$ y un valor- $p = 0,020$; indicando que la altitud influye en un 34% sobre la abundancia de lombrices. Otra variable correlacionada fue la presencia de Coleoptera con la altura sobre el nivel del mar, obteniendo un $r = 0,47$ y un valor- $p = 0,001$, indicando que la altitud influyó en un 47% sobre la abundancia de Coleoptera, de igual forma se correlacionaron los Chilopoda y Diplopoda obteniendo un $r = 0,54$ y un valor- p de 0,000, indicando que la altitud influyó en un 54% sobre la abundancia de Chilopoda y Diplopoda.

Respecto a las lombrices, el estudio de Cerón *et al.* (2008), concluyó que la altitud incide en la abundancia de los organismos; en el caso de la lombriz de tierra en el páramo, de manera inversa, es decir que a medida que aumenta la altitud, la abundancia de lombrices disminuye (Chamorro, 1989; García y Chamorro, 1995; Unigarro *et al.*, 2005; citados por Cerón *et al.*, 2008).

4. CONCLUSIONES

La comparación entre la abundancia y biomasa de comunidades edáficas presentes en parcelas fertilizadas y testigo en suelos de plantaciones de *E. grandis* no registró ninguna diferencia significativa, probablemente debido a que desde el tiempo de fertilización hasta el momento de la recolección de monolitos había transcurrido un tiempo considerable, probablemente también debido al sitio de aplicación de los fertilizantes y el sitio del muestreo en espacios distantes entre sí.

La macrofauna encontrada en las cuatro áreas de estudio pertenece básicamente a dos Phylla: Annelida y Arthropoda. Annelida está constituida por la clase Oligochaeta, y Arthropoda está conformada por Chilopoda, Diplopoda, Arachnida, Malacostraca e Insecta.

Se presentaron correlaciones significativas y positivas entre las unidades taxonómicas lombrices, Coleoptera e Isopoda y la precipitación, a medida que la precipitación aumentó la abundancia de las unidades también aumentó.

Las poblaciones de lombrices, Coleoptera, Chilopoda y Diplopoda se correlacionaron significativamente con la altitud, a medida que la altitud se incrementó, las poblaciones también lo hicieron. La tendencia de poblaciones de lombrices Coleoptera, Chilopoda y Diplopoda dependía del aumento en la altitud.

A pesar de la participación activa de las comunidades edáficas en las interacciones que se desarrollan en el suelo entre los procesos físicos, químicos y biológicos, el conocimiento taxonómico de la edafofauna sigue siendo limitado en comparación con los demás organismos sobre la superficie, esto es particularmente evidente en el caso de los taxones de cuerpo pequeño, por lo que resulta complejo clasificar este tipo de comunidades a nivel de especie, la falta de claves y estudios comparativos limitan el cálculo de índices de diversidad de especies para los invertebrados recolectados.

Se debe tener en cuenta que los patrones de distribución de la biota del suelo son muy variables y por lo tanto es necesario profundizar en las siguientes investigaciones para determinar cuáles son los patrones de distribución de las comunidades de meso y macrofauna en las plantaciones de *E. grandis*.

El impacto de los organismos del suelo en la fertilidad del mismo en plantaciones forestales sigue siendo en gran parte inexplorado, a pesar del reconocimiento de que la fauna del suelo es un factor importante que contribuye a la descomposición de materia orgánica.

Comprender el comportamiento de los organismos del suelo implica entender que cada uno de esos organismos pertenece a una red trófica y cumplen una función específica dentro del ecosistema, por lo tanto cualquier alteración en la cadena implica una serie de cambios a nivel relacionados con la abundancia y la diversidad en cualquier nivel trófico.

5. RECOMENDACIONES

Realizar la extracción de la macrofauna con un método diferente al visual-manual, por ejemplo utilizar el embudo de Berlese (Márquez, 2005) para evitar la pérdida de los invertebrados edáficos, debido a que la eficacia del método manual es baja y tiende a subestimar las poblaciones de la macrofauna, especialmente en los organismos de menor tamaño. También es importante comparar las comunidades edáficas presentes en las plantaciones de *E. grandis* con otros sistemas como bosques naturales, praderas y otros cultivos, utilizando la metodología recomendada por el programa de Fertilidad y Biología de Suelos Tropicales (TSBF).

Se recomienda ampliar los espacios de investigación y manejo de las comunidades edáficas que incluyan a los grupos menos estudiados, y de esta manera aumentar los conocimientos de la diversidad biológica del suelo en las plantaciones forestales.

Para entender el efecto de los fertilizantes sobre las comunidades edáficas de las plantaciones de *E. grandis* es conveniente realizar una investigación que involucre a los primeros niveles tróficos como: los hongos, las bacterias y nematodos, que son alimento de la meso y macrofauna, de esta forma sería más precisa la conclusión del efecto. Además es necesario definir los patrones espaciales de distribución de la fauna edáfica dentro y fuera de las plantaciones teniendo en cuenta la humedad relativa, la pendiente, la temperatura del suelo y la biomasa de la vegetación.

BIBLIOGRAFÍA

ADOLPHSON H; KINNEAR A. Acari (mite) assemblages under plantations of blue gum, *Eucalyptus globulus*, in southwestern Australia. En: Pedobiologia. 2008, vol. 51, p. 428.

ANDERSON J; INGRAM J. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. TSBF.2 ed. Oxford, 1993.18 p.

ARAUJO Y; LÓPEZ HERNÁNDEZ B. Caracterización de las poblaciones de lombrices de tierra en un sistema de agricultura orgánica ubicado en una sabana en el Amazonas Venezolano. En: Ecotrópicos. 1999. vol. 12, no. 1, p. 54.

ARROYO J; ITURRONDOBEITIA J; RAD C; GONZÁLEZ CARCEDO S. Oribatid mite (Acari) community structure in steppic habitats of Burgos Province, central northern Spain. En: Journal of Natural History. 2005. vol. 39, p. 3453-3470.

AUDESIRK T; AUDESIRK G; BYERS B. El Reino Animal. En: Biología: La vida en la Tierra. 6 ed. Ciudad de México: Pearson Educación, 2003. p. 441.

AUSMUS B. Regulation of wood decomposition rates by arthropod and annelid populations. En: Ecological Bulletins. 1977. no. 25, p. 180–192.

AWADZI T; COBBLAH M; BREUNING-MADSEN H. The Role of Termites in Soil Formation in the Tropical Semi-Deciduous Forest Zone, Ghana. En: Geografisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography. 2004. vol. 104, no. 2, p. 27.

BARDGETT, R. The Diversity of Life in Soil. En: The Biology of Soil a Community and Ecosystem Approach. Oxford: Oxford University Press, 2005. p. 24-56.

BAUR B; BAUR A. Climatic warming due to thermal radiation from an urban area as possible cause for the local extinction of a land snail. En: Applied Soil Ecology.1993. vol. 30, p. 333-340.

BEHAN-PELLETIER V. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role bioindication. En: Agriculture, Ecosystems & Environment. 1999. vol. 74, p. 411-423.

BERMEJO, F. La red alimentaria del suelo (I). En: Fertilidad de la Tierra: revista de agricultura ecológica. 2002. no. 8, p. 24-25.

BERNHARD F; HUTTEL C. Soil Biological Fertility Undergoes Fundamental Changes When Fast-growing Exotic Trees Are Planted on a Poor Savanna Soil. En: F. BERNHARD-REVERSAT. Effect of Exotic Tree Plantations on Plant Diversity and Biological Soil Fertility in the Congo Savanna: With Special Reference to Eucalypts. Bogor, Indonesia, Bernhard-Reversat, F., 2001. p. 56-60.

BINET F; KERSANTÉ A; MUNIER-LAMY C; LE BAYON, R; BELGY, M; SHIPITALO, M. Lumbricid macrofauna alter atrazine mineralization and sorption in a silt loam soil. En: Soil Biology & Biochemistry. 2006. vol. 38, p. 1256.

BRUSSAARD, L. Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. En: Ambio. 1997. vol. 26, no. 8, p. 563-570.

CABRA GARCÍA J; MONTEALEGRE M; ARCE M. Evaluación rápida de la riqueza de arañas en un bosque húmedo tropical del departamento del Cauca (Colombia). En: Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle. 2010. vol. 11, no. 1, p. 2.

CAMPBELL N; REECE J. Invertebrados. En: Biología. 7 ed. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana, 2007. p. 660.

CARRERA, M. Entomología para Você. 5 ed. Sao Pablo, Brazil: Livraria Novel S.A. 1973. p. 185.

CEBALLOS SARRIA, V. E. Análisis y distribución de la macrofauna edáfica de dos relictos de bosque de Roble (*Quercus humboldtii* Bondpland) con diferente grado de intervención antrópica. Tesis de pregrado biólogo. Popayán: Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Departamento de Biología, 2007, 12-19 p.

CERÓN P; MONTENEGRO S; NOGUERA E. Macrofauna en suelos de bosque y pajonal de la reserva natural pueblo viejo, Nariño, Colombia. En: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2008. vol. 32, no 125, p. 448.

CHAMORRO BELLO, C. El suelo: maravilloso teatro de la vida. En: Revista de la academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. 2001. vol. 25, no. 97, p. 483-489.

COLE L; BRADFORD M.A; SHAW P. J; BARDGETT R. D. The abundance, richness and functional role of soil meso- and macrofauna in temperate grassland-a case study. En: Applied Soil Ecology. November, 2006. vol. 33, p.187.

CORONADO R; MÁRQUEZ A. Morfología de Insectos. En: Introducción a la Entomología Morfología y Taxonomía de los Insectos. México: Limusa S. A., 1996. p. 61-222.

COÛTEAUX M; MOUSSEAU M; CÉLÉRIER M-L; BOTTNER P. Increased atmospheric CO₂ and litter quality: decompositions of sweet chestnut leaf with animal food webs of different complexities. En: Oikos. 1991. vol. 61, no. 1, p. 54-64.

DALLINGER R; BERGER B; BIRKEL S. Terrestrial isopods: useful biological indicators of urban metal pollution. En: Oecologia. 1992. vol. 89, no. 1, p. 32-41.

DAVIES, R. Clasificación y biología. En: Introducción a la entomología. Madrid: Mundi-Prensa, 1991. p. 129-194.

DEACËNS T; JIMÉNEZ J; RANGEL A; CEPEDA A; MORENO A; LAVELLE P. La Macrofauna del Suelo en la Sabana Bien Drenada de los Llanos Orientales. En: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Agroecología y Biodiversidad de las Sabanas en los Llanos Orientales de Colombia. Cali, Colombia. CIAT, 2001. p. 111-137.

DECAËNS T; LAVELLE P; JIMENEZ JAEN J. J; ESCOBAR G; RIPPSTEIN G. Impacto del uso de la tierra en la macrofauna del suelo de los llanos orientales de Colombia. En: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). El Arado Natural: Las comunidades de Macroinvertebrados del Suelo en las Sabanas Neotropicales de Colombia. Publicación CIAT 336. Cali, Colombia. Jiménez, J y Thomas, R. 2003. p. 21-25.

DOWNIE L; COULSON J; BUTTERFIELD E. Distribution and dynamics of surface-dwelling spiders across a pasture-plantation ecotone. En: ECOGRAPHY. 1996. vol. 19, p. 29-49.

EDWARDS C; BOHLEN P. Biology and Ecology of Earthworms. 3 ed. London: Chapman & Hall, 1996. 426 p.

EDWARDS C; LOFTY. Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in agricultural soils. En: soil Biology and Biochemistry. 1982. vol. 14, no. 5, p. 515-521.

EKSCHMITT K; LIU M; VETTER S; FOX O; WOLTERS V. Strategies used by soil biota to overcome soil organic matter stability—why is dead organic matter left over in the soil?. En: Geoderma. 2005. vol. 118, p. 167-176.

ESCOBAR F; MEDINA C. Coleópteros coprófagos (Scarabidae) de Colombia: estado actual de su conocimiento. En: ANDRADE M; GARCÍA G; FERNANDEZ F. Insectos de Colombia Estudios Escogidos. Santa Fe de Bogotá D.C. Centro Editorial Javeriano. 1996. p. 93-94.

ETTEMA C; WARDLE D. Spatial soil ecology. En: Trends in Ecology & Evolution. 2002. vol. 17, no. 4, p. 177-183.

FAO. Soil biodiversity and sustainable agriculture. En: International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture. Londrina, Brazil: Embrapa Soybean y FAO. 2002. p. 1-68.

FEIJOO MARTINEZ A; ZUÑIGA M; QUINTERO H; CARVAJAL VANEGAS A; ORTIZ D. Patrones de asociación entre variables del suelo y usos del terreno en la cuenca del río La Vieja, Colombia. En: Acta Zoológica Mexicana. 2010. vol. 2, p. 151-164.

FEIJOO A; KNAPP E. B; LAVELLE P; MORENO A. G. Cuantificación de la Macrofauna del Suelo en una Cuenca Hidrográfica de Colombia. En: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). El Arado Natural: Las comunidades de Macroinvertebrados del Suelo en las Sabanas Neotropicales de Colombia. Publicación CIAT 336. Cali, Colombia. Jiménez, J y Thomas, R. 2003. p. 46-47.

FLÓREZ, E. Morfología. En: Las Arañas del Departamento del Valle del Cauca: Un Manual introductorio a su Diversidad y Clasificación. Santiago de Cali: Inciva-Colciencias, 1996. p. 1-16.

GÄRDENFORS U; WALDÉN H; WÄREBORN I. Effect of soil acidification on forest land snails. En: Ecological Bulletins. 1995. vol. 44, p. 25-270.

GILLET S; PONGE J-F. Changes in species assemblages and diets of Collembola a long a gradient of metal pollution. En: Applied Soil Ecology. 2003. vol. 22, no. 2, p. 127-138.

GÓMEZ K; ESPADALER X. Anatomía [online]. Asociación Ibérica de Mirmecología (AIM). Girona, España, mar. 2007 [citado 3 abr. 2012]. Disponible desde internet: <<http://www.hormigas.org/xPaginas/Anatomia.htm>>.

GÓMEZ M; BARBOSA DOS SANTOS S; ROLDAN G. Ancyliidae from the department of Antioquia–Colombia, with new records (Pulmonata, Basommatophora). En: Caldasia. 2004. vol. 26, no. 2, p. 439-443.

GONZÁLEZ, G. Los Coccinellidae de Chile [online]. Santiago de Chile: 2006. [Citado 31 marzo 2012]. Disponible desde internet: <<http://www.coccinellidae.cl/paginasWebChile/PaginasOriginal/morfologia1.php>>.

HALAJ J; ROSS D; MOLDENKE A. Importance of habitat structure to the arthropod food-web in Douglas-fir canopies. En: Oikos. 2000, vol. 90, p. 139-152.

HAMMOND, J. Arthropod biodiversity from *populus* coarse woody material in north-central Alberta: a review of taxa and collection methods. En: The Canadian Entomologist. 1997. vol. 129, no. 6, p. 1009-1033.

HAMMOND J; LANGOR D; SPENCE J. Early colonization of *Populus* wood by saproxylic beetles (Coleoptera). En: Canadian Journal of Forest Research. 2001. vol. 31, p.1175–1183.

HAMMOND J; LANGOR D; SPENCE J. Saproxylic beetles (Coleoptera) using *Populus* in boreal aspen stands of western Canada: spatiotemporal variation and conservation of assemblages. En: Canadian Journal of Forest Research. 2004. Vol. 34, no. 1, p. 1 -19.

HAUSDORF, B. Introduced Land snails and slugs in Colombia. En: Journal of Molluscan Studies. 2002. vol. 68, p. 127-131.

HAUSDORF, B. Systematic Position and Taxonomy of the genus *Hirtudiscus* from Colombia (Gastropoda: Scolodontidae). En: Journal of Molluscan Studies. 2003. vol. 69, p. 179-186.

HOTOPP, K. Land Snails and Soil Calcium in Central Appalachian Mountain Forest. En: Southeastern Naturalist. 2002. Vol. 1, no. 1, p. 27-44.

HUHTA, V. Soil macroarthropod communities in planted birch stands in comparison with natural forests in central Finland. En: Applied Soil Ecology. 2002, vol. 20, p. 199-209.

INGHAM R; TROFYMOW J; INGHAM E; COLEMAN D. Interactions of Bacteria, Fungi, and their Nematode Grazers: Effects on Nutrient Cycling and Plant Growth. En: Ecological Monographs. 1985. vol. 55, p. 119-140.

IRAOLA, V. Introducción a los ácaros (I): descripción general y principales grupos. En: Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A). 1998. no. 3, p. 13-19.

JACKSON R; CALDWELL M. Geostatistical patterns of soil heterogeneity around individual perennial plants. En: Journal of Ecology. 1993. vol. 81, p. 683-692.

JARAMILLO, D. La biota y el manejo del suelo. En: Introducción a la ciencia del suelo. Medellín: 2002. p. 385.

JIMÉNEZ J; DECAËNS T; THOMAS R. J; LAVELLE P. La Macrofauna del suelo: Un Recurso Natural Aprovechable pero Poco Conocido. En: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). El Arado Natural: Las comunidades de Macroinvertebrados del Suelo en las Sabanas Neotropicales de Colombia. Publicación CIAT 336. Cali, Colombia. Jiménez, J y Thomas, R. 2003. p. 3-7.

JONES C; LAWTON J; SHACHAK M. Organisms as ecosystem engineers. En: Oikos. 1994. vol. 69, p. 373-386.

JONES C; LAWTON J; SHACHAK M. Positive and Negative Effects of Organisms as Physical Ecosystem Engineers. En: Ecology. 1997. vol. 78, p. 1946–1957.

KAPPES H; TOPP W; ZACH P; KULFAN J. Coarse woody debris, soil properties and snails (Mollusca: Gastropoda) in European primeval forests of different environmental conditions. En: European Journal of Soil Biology. 2006. vol. 42, p. 139.

LAAKSO J; SETÄLÄ H. Composition and trophic structure of detrital food web in ant nest mounds of *Formica aquilona* and in the surrounding forest soil. En: Oikos. 1998. vol. 81, no. 2, p. 266-278.

LANGOR D; HAMMOND J. Saproxyllic insect assemblages in Canadian forests: diversity, ecology, and conservation. En: Entomological Society of Canada. 2008. vol. 140, p.454.

LARDIES M; BOZINOVIC F. Genetic variation for plasticity in physiological and life-history traits among populations of an invasive species, the terrestrial isopod *Porcellio laevis*. En: Evolutionary Ecology Research. 2008. vol. 10, p. 747–762.

LAVELLE P; BIGNELL D; LEPAGE M; WOLTERS V; ROGER P; INESON P; HEAL O; DHILLION S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. En: European Journal of Soil Biology. 1997. vol. 33, p. 159-193.

LAVELLE P; BLANCHART E; MARTIN A; SPAIN A; MARTIN S. Impact of Soil Fauna on the Properties of Soils in the Humid Tropics. En: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Myths and Science of Soils of the Tropics. Especial ed. Madison: Lal R; Sanchez P., 1992. p. 157-185.

LAVELLE P; BLANCHART E; MARTIN A; MARTIN S; SPAIN A; TOUTAIN F; BAROIS I; SCHAETER R. A Hierarchical Model for Decomposition in Terrestrial Ecosystems: Application to Soils of the Humid Tropics. En: Biotropica. 1993. vol. 25, no. 2, p. 130-150.

LAVELLE P; DANGERFIELD M; FRAGOSO C; ESCHENBRENNER V; LOPEZ HERNANDEZ D; PASHANASI B; BRUSSAARD L. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. The Biological Management of Tropical Soil Fertility. Edited by Wooster and Swift. A Wiley-Sayce Publication, 1994.p. 137.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. En: Biology International. 1996. no. 33, p. 3-16.

LAVELLE, P. Faunal Activities and Soil Processes: Adaptive Strategies That Determine Ecosystem Function. En: Advances in Ecological Research. 1997. vol. 27, p. 93-132.

LEVELLE P; SPAIN A. Invertebrate Communities. En: Soil Ecology. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2001. p. 335-336.

LENSING J; WISE D. Impact of changes in rainfall amounts predicted by climate-change models on decomposition in a deciduous forest. En: Applied Soil Ecology. 2007. vol. 35, p. 523-524.

LOBRY DE BRUYN, L. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. En: Agriculture, Ecosystems & Environment. 1999. vol. 74, p. 425-441.

LOBRY DE BRUYN L; CONACHER A. The role of termites and ants in soil modification. En: Australian Journal of Soil Research. 1990. vol. 28, no. 1, p. 55-93.

LOCASCIULLI O; BOAG D. Microdistribution of terrestrial snails (Stylommatophora) in forest litter. *Can. Field-Naturalist*. 1987. vol. 101, p. 76–81.

LOUZADA J; SCHOEREDER J; MARCO P. Litter decomposition in semideciduous forest and *Eucalyptus spp.* crop in Brazil: a comparison. En: *Forest Ecology and Management*. 1997. vol. 94, p. 31-32.

LOZANO ZAMBRANO F; FERNÁNDEZ F. Aproximación al análisis zoogeográfico de las hormigas cazadoras (Himenóptera: Formicidae) en Colombia. En: *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*. 2007. vol. 8, no. 1, p. 23.

MALIK V; TIMMER V. Biomass partitioning and nitrogen retranslocation in black spruce seedlings on competitive mixed wood sites: a bioassay study. En: *Canadian Journal of Research*. 1998. vol. 28, no. 2, p. 206-215.

MARC P; CANARD A; YSNEL F. Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication. En: *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1999. vol. 74, p. 229-273.

MÁRQUEZ, J. Técnicas de colecta y preservación de insectos. En: *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*. 2005. no. 37, p. 385-408.

MARÍN E; FEIJOO A. Efecto de la labranza sobre macroinvertebrados del suelo en Vertisoles de un área de Colombia. En: *Terra Latinoamericana*. 2007. vol. 25, no. 3, p. 297-310.

MARTIN, A. Short-term and long-term effects of the endogeic earthworm *Millsonia anomala* (Omodeo) (Megascolecidae, Oligochaeta) of tropical savannas, on soil organic-matter. *Biology and Fertility of Soils*. 1991. vol. 11, no. 3, p. 234-238.

MATHIEU J; GRIMALDI M; JOUQUET P; ROULAND C; LAVELLE P; DESJARDINS T; ROSSI J-P. Spatial patterns of grasses influence soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. En: *Soil Biology & Biochemistry*. 2009. vol. 41, p. 586-593.

MATHIEU J; ROSSI J. P; MORA P; LAVELLE P; MARTINS P. F; ROULAND C; GRIMALDI M. Recovery of Soil Macrofauna Communities after Forest Clearance in Eastern Amazonia, Brazil. En: Conservation Biology. 2005. vol. 19, no. 5, p. 1600.

MEENTEMEYER, V. Microclimate and lignin control of litter decomposition rates. En: Ecology. 1978. vol. 58, p. 465-472.

MÉNDEZ D; LÓPEZ M; GARCÍA R. Diversidad de escarabajos (Coleoptera, Staphylinidae) en dos localidades del departamento del Quindío. En: Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural. 2009. vol. 13, no. 2, p. 148-156.

MÖLLER, G. Habitatstrukturen holzbewohnender Insekten und Pilze. En: LÖBF-Mitteilungen. Berlin. 2005. p. 30-35.

MONSALVE J; ESCOBAR R; ACEVEDO M; SÁNCHEZ M; COOPMAN R. Efecto de la concentración de nitrógeno sobre atributos morfológicos, potencial de crecimiento radical y estatus nutricional en plantas de *Eucalyptus globulus* producidas a raíz de cubierta. En: Bosque. 2009. vol. 30, no. 2, p. 88-94.

NAVIDI, W. Estadística para ingenieros. 1 ed. México D, F.: McGraw-Hill, 2006.p. 244-248. ISBN 0-07-255160-7.

NAVARRO R; PEMÁN J. Apuntes de producción de planta forestal. Córdoba, España: Universidad de Córdoba. 1997. p. 267.

NEHER D; BARBERCHECK M. Diversity and Function of Soil Mesofauna, 1999. p. 37-38.

NEKOLA, J. Terrestrial gastropod richness of carbonate cliff and associated habitats in the great lakes region of North America. En: Malacologia. 1999. vol. 41, no. 1, p. 231-252.

NIEMALÄ J; HAILA Y; HALME E; PAJUNEN T; PUNTTILA P. Small-scale heterogeneity in the spatial distribution of carabid beetles in the southern Finnish taiga. En: Journal of Biogeography. 1992. vol. 19, p. 173-181.

ORCHARD V; COOK F. Relationship between soil respiration and moisture. En: Soil Biology and Biochemistry. 1983. vol. 15, p. 447-453.

OXBROUGH A. G; GITTINGS T; O' HALLORAN J; GILLER P. S; SMITH G. F. Structural indicators of spider communities across the forest plantation cycle. En: Forest Ecology and Management. 2005. vol. 212, p. 172.

PAOLETTI M; HASSALL M. Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. En: Agriculture, Ecosystems and Environment. 1999. vol. 74, p. 157-165.

PARDO-LOCARNO, L. C. Macroinvertebrados edafícolas en agroecosistemas del municipio de El Cerrito (Valle), con énfasis en la comunidad de escarabajos Melolonthidae (Coleóptera: Scarabaeoidea). Tesis Doctoral. Universidad del Valle. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Programa Académico de Biología. Santiago de Cali, 2009, 174 p.

PETERSON, A. Curso de Insectos Inmaduros. Traducido por Ángela Martha Rojas. Santiago de Cali: Universidad del Valle, 1960. p. 364.

PELLENS R; GARAY I. Edaphic macroarthropod communities in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maid (Myrtaceae) and *Acacia mangium* Wild (Leguminosae) in Brazil. En: European Journal of Soil Biology. 1999. vol. 35, no. 2, p. 78.

PÉREZ-SCHULTHEISS, J. Familias de Isópodos terrestres (Crustacea: Isopoda: Oniscidea) de Chile: Sinopsis y clave de identificación. En: Boletín de Biodiversidad de Chile. 2010. vol. 4, p. 63-82.

RAWLINS A; BULL I; POIRIER N; INESON P; EVERSHERD R. The biochemical transformation of oak (*Quercus robur*) leaf litter consumed by the pill millipede (*Glomeris marginata*). En: Soil Biology and Biochemistry. 2006. vol. 38, p. 1063-1076.

ROSS, H. Los órdenes de insectos. En: Introducción a la entomología general y aplicada. 5 ed. Barcelona: Casanova, 1982. p. 215-419.

ROSSI J-P; LAVELLE P; ALBRECHT A. Relations between spatial pattern of the endogeic earthworm *Polypheretima elongata* and soil heterogeneity. En: Soil Ecology and Biochemistry. 1997. vol. 29, p. 485-488.

ROOT, R. Organization of a Plant-Arthropod Association in Simple and Diverse Habitats: The Fauna of Collards (*Brassica oleracea*). En: Ecological Society of America. 1973. vol. 43, no. 1, p. 95-124.

SANABRIA BLANDÓN M; CHACÓN DE ULLOA P. Hormigas cazadoras en sistemas productivos del piedemonte amazónico colombiano: diversidad y especies indicadoras. En: Acta Amazonica. 2011. vol. 41, no. 4, p. 503-512.

SCHEU, S. The soil food web: structure and perspectives. En: European Journal of Soil Biology. 2002. vol. 38, p. 11-20.

SEASTEDT T; ADAMS G. Effects of mobile tree islands on alpine tundra soils. En: Ecology. 2001. vol. 82, no. 1, p. 8-17.

SHARPLEY UN; SYERS JK. Potential role of earthworm casts for the phosphorus enrichment of run-off waters. En: Soil Biology and Biochemistry. 1976. vol. 8, no. 5, p. 341-346.

SHAW TM; MOORE JA; MARSHALL JD. Root chemistry of Douglas-fir seedlings grown under different nitrogen and potassium regimes. En: Canadian Journal of Forest Research. 1998. vol. 28, no.10, p.1566-1573.

SIITONEN, J. Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. En: Ecological Bulletins. 2001. vol. 49, p.11-41.

SNYDER B; BOOTS B; HENDRIX P. Competition between invasive earthworms (*Amyntas cortices*, Megascolecidae) and native North American millipedes (*Pseudopolydesmus erasus*, Polydesmidae): Effects on carbon cycling and soil structure. En: Soil Ecology & Biochemistry. 2009. vol. 41, p. 1442-1449.

SPAIN A; LAVELLE P; MARIOTTI A. Stimulation of plant growth by tropical earthworms. En: Soil Biology & Biochemistry. 1992. vol. 24, no. 12, p. 1629.

STECHAUNER ROHRINGER, R. Aporte de coleópteros saproxilófagos a la transformación de residuos de caña de azúcar y su impacto biológico en el suelo. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de Doctor en Ciencias Agropecuarias Línea de Investigación Manejo de Suelos y Aguas. Palmira. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2010, 141 p.

STELL R; TORRIE J. Análisis de la Varianza II: Clasificaciones Múltiples. En: Bioestadística: Principios y Procedimientos. 2 ed. México: McGraw-Hill, 1988. p. 188-195.

TIETEMA A; WESSEL W. Microbial activity and leaching during initial oak leaf litter decomposition. En: Biology and Fertility of Soils. 1994. vol. 18, p. 49-54.

TOTI D; COYLE F; MILLER J.A Structured Inventory of Appalachian Grass Bald and Heath Bald Spider Assemblages and a Test of Species Richness Estimator Performance. En: The Journal of Arachnology. 2000. vol. 28, p. 329-345.

UBERO PASCA, N. El Celoma y la Metamería. Los Anélidos. OpenCourseWare de la Universidad de Murcia. Diversidad animal [online]. Madrid: 2009 [citado 2 abril 2012]. Disponible desde internet: <http://ocw.um.es/gat/contenidos/ubero/diversidad/material_clase/Sesion_Practica_05.pdf>.

UBERO PASCAL, N. Los Artropodos (II): Quelicerados y Miriápodos. OpenCourseWare de la Universidad de Murcia. Diversidad animal [online]. Madrid: 2009 [citado 31 marzo 2012]. Disponible desde internet: <http://ocw.um.es/gat/contenidos/ubero/diversidad/material_clase/Sesion_Practica_07.pdf>.

UETZ, G. The Influence of Variation in Litter Habitats on Spider Communities. En: Oecologia. 1979. vol. 40, p. 29-42.

VAN DEN DRIESSCHE, R. Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen, and potassium treatments. En: Canadian Journal of Forest Research. 1992. vol. 22, no. 5, p. 740-749.

VANLAUWE B; VANLANGENHOVE G; MERCKX R; VLASSAK K. Impact of rainfall regime on the decomposition of leaf with contrasting quality under subhumid tropical conditions. En: Biology and Fertility of Soils. 1995. vol. 20, p. 8-16.

VERA-ARDILA M; LINARES E. Gastrópodos de la región subxerofítica de La Herrera, Mosquera, Cundinamarca, Colombia. En: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2005. vol. 29, no. 112, p. 339-456.

VERA ARDILLA, M. Lista de géneros de moluscos terrestres de Colombia (Mollusca: Gastropoda: Prosobranchia: Mesogastropoda y Pulmonata: Stylommatophora). En: Biota Colombiana. 2008. vol. 9, no. 1, p. 39-62.

WARDLE D; BARDGETT R; KLIRONOMOS J; SETÄLÄ H; VAN DER PUTTEN W; WALL D. Ecological Linkages Between Aboveground and Belowground Biota. En: SCIENCE. 2004. vol. 304, p. 1629-1633.

WÄREBORN, I. Changes in the land mollusc fauna and soil chemistry in an inland district in southern Sweden. En: Ecography. 1992. vol. 15. p. 62-69.

WEISS, M. Defecation behavior and ecology of insects. En: Annual Review of Entomology. 2006. vol. 51, p. 635-661.

WOLFF, M. Insectos de Colombia. Medellín: Universidad de Antioquia, 2006. p. 77-89, 95-100, 109-112, 129-173, 205-269.

WOLTERS, V. Invertebrates control of soil organic matter stability. En: Biology and Fertility of Soils. 2000. vol. 31, p. 1-19.

ZERBINO BARDIER, M. Evaluación de la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción. Tesis Magister en Ciencias Ambientales. Montevideo: Universidad de la República. Facultad de Ciencias. Maestría en Ciencias Ambientales, 2005, 11-21p.

ZERBINO, M. Evaluación de la macrofauna del suelo en rotaciones cultivos-pasturas con laboreo convencional. En: Acta Zoológica Mexicana. 2010. no. 2, p. 189-202.

ANEXOS

Anexo A. Características químicas de los suelos de las parcelas fertilizadas de las fincas Chupillauta, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande.

FINCA	UNIDAD	CHUPILLAUTA	EL PITAL	DON MIGUEL	R. GRANDE
Profundidad	cm	0-40	0-40	0-40	0-40
pH		4,58	4,51	4,60	5,46
Clasificación		Muy ácido	Muy ácido	Muy ácido	Muy ácido
N-Total	mg/kg	5758,37	6766,53	5791,43	1468,27
C	g/kg	98,33	101,79	83,89	16,21
P-Brayll	mg/kg	1,52	6,97	0,84	0,36
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
K	cmol/kg	0,05	0,08	0,11	0,24
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Ca	cmol/kg	0,06	0,12	0,41	7,38
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Mg	cmol/kg	0,06	0,11	0,14	4,43
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Al	cmol/kg	1,50	1,85	1,40	0,05
Clasificación		Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy bajo
CIC	cmol/kg	44,98	49,40	47,40	16,95
Clasificación		Alta	Alta	Alta	Medio
S	mg/kg	68,54	38,29	68,31	45,51
Clasificación		Alta	Alta	Alto	Alto
B	mg/kg	0,48	0,42	0,46	0,47
Clasificación		Alto	Alto	Alto	Alto
Fe	mg/kg	1,31	0,87	2,72	42,34
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Mn	mg/kg	0,45	1,14	8,93	86,13
Clasificación		Bajo	Bajo	Medio	Alto
Cu	mg/kg	0,09	0,07	0,12	7,76
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Zn	mg/kg	0,22	0,72	0,30	4,23
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Alto

Anexo B. Características químicas de los suelos de las parcelas testigo de las fincas Chupillauta, El Pital, Don Miguel y Rancho Grande.

FINCA	UNIDAD	CHUPILLAUTA	EL PITAL	DON MIGUEL	R. GRANDE
Profundidad	cm	0-40	0-40	0-40	0-40
pH		4,93	4,91	4,58	5,10
Clasificación		Muy ácido	Muy ácido	Muy ácido	Muy ácido
N-Total	mg/kg	5134,39	5706,56	5466,36	1258,91
C	g/kg	91,86	88,74	67,70	14,73
P-Brayll	mg/kg	0,89	1,63	0,97	0,38
Clasificación		Bajo	bajo	Bajo	Bajo
K	cmol/kg	0,06	0,08	0,10	0,33
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Ca	cmol/kg	0,08	0,07	0,75	4,63
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Mg	cmol/kg	0,07	0,09	0,25	6,16
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Al	cmol/kg	0,85	1,00	1,58	0,13
Clasificación		Muy alto	Muy alto	Muy alto	Bajo
CIC	cmol/kg	45,88	47,40	42,55	19,00
Clasificación		Alto	Alto	Alto	Medio
S	mg/kg	71,03	36,03	107,75	93,36
Clasificación		Alto	Alto	Alto	Alto
B	mg/kg	0,34	0,14	0,27	0,33
		Medio	Bajo	Medio	Medio
Fe	mg/kg	1,34	0,55	1,01	40,64
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Mn	mg/kg	1,38	1,82	9,63	96,71
Clasificación		Bajo	Bajo	Medio	Alto
Cu	mg/kg	0,09	0,10	0,09	8,15
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Zn	mg/kg	0,32	0,95	0,34	5,11
Clasificación		Bajo	Bajo	Bajo	Alto

Anexo C. Registro fotográfico del Orden Coleóptero.



Larva de la familia Elateridae.



Larva de la familia Scarabaeidae.

Anexo D. Registro fotográfico de los ordenes Isopoda y Diplura.



Orden Isópodo



Orden Dipluro.

Anexo E. Registro fotográfico del orden Araneae y clase Oligochaeta.



Orden Araneae.



Clase Oligochaeta.

Anexo F. Significancia de la prueba de Mann Whitney para la comparación entre las fincas Chupillautá vs El Pital, Don Miguel y Rancho Grande.

UNIDADES TAXONÓMICAS	CHUPILLAUTA					
	EL PITAL (valor-p)		DON MIGUEL (valor-p)		RANCHO GRANDE (valor-p)	
	Abundancia	Biomasa	Abundancia	Biomasa	Abundancia	Biomasa
Lombrices	0,209	0,188	0,553	0,213	0,100	0,318
Coleoptera	0,58	0,245	0,908	0,862	0,000	0,000
Chilopoda	0,882	0,230	0,114	0,138	0,007	0,024
Hymenoptera	1	0,505	0,376	0,659	0,020	0,025
Arachnida	0,521	0,906	0,762	0,656	0,025	0,010
Isopoda	0,971	0,943	0,73	0,863	0,113	0,167
Diplopoda	0,924	0,950	0,024	0,016	0,087	0,074
Diplura	0,045	0,010	0,002	0,009	0,000	0,001
Isoptera	0,143	0,143	0,033	0,033	0,122	0,122
Otros	0,016	0,025	0,064	0,083	0,000	0,000

Anexo G. Significancia de la prueba de Mann Whitney para la comparación entre las fincas El Pital vs Don Miguel y Rancho Grande.

UNIDADES TAXONÓMICAS	EL PITAL			
	DON MIGUEL (valor-p)		RANCHO GRANDE (valor-p)	
	Abundancia	Biomasa	Abundancia	Biomasa
Lombrices	0,281	0,907	0,004	0,060
Coleoptera	0,640	0,147	0,001	0,003
Chilopoda	0,079	0,663	0,003	0,004
Hymenoptera	0,318	0,320	0,009	0,005
Arachnida	0,805	0,881	0,056	0,020
Isopoda	1	1	0,230	0,230
Diplopoda	0,019	0,005	0,044	0,044
Diplura	0,465	0,746	0,113	0,208
Isoptera	0,317	0,371	0,952	0,952
Otros	0,796	0,821	0,171	0,131

Anexo H. Significancia de la prueba de Mann Whitney para la comparación entre las fincas Don Miguel vs Rancho Grande.

UNIDADES TAXONÓMICAS	DON MIGUEL	
	RANCHO GRANDE Significancia (valor-p)	
	Abundancia	Biomasa
Lombrices	0,044	0,102
Coleoptera	0,000	0,000
Chilopoda	0,000	0,001
Hymenoptera	0,090	0,054
Arachnida	0,049	0,028
Isopoda	0,131	0,167
Diplopoda	0,000	0,000
Diplura	0,286	0,404
Isoptera	0,317	0,317
Otros	0,150	0,114