

**Efecto del uso del suelo sobre la abundancia y distribución espacial de la
artropofauna edáfica asociada a la hojarasca en bosque y cafetal (Montenegro,
Quindío)**

LUCAS ANDRES GORDILLO TORO

TRABAJO DE GRADO
Presentado como requisito
Para optar al título de

BIÓLOGO

DIRECTORA
Amanda Varela, Ph, D.

PONTIFICIA UNOVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOLOGÍA
Bogotá, D.C
Diciembre de 2009

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de julio de 1946

“la Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en su trabajos de tesis. Solo velara por qué no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por que la tesis no contenga ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas anhelo de buscar la verdad y la justicia”

TABLA DE CONTENIDO

Resumen

1. Introducción.....	3
2. Marco teórico y revisión de literatura.....	3
2.1 El suelo.....	3
2.2 Entomofauna edáfica.....	6
2.3 Ecosistemas agrícolas.....	7
2.4 Heterogeneidad espacial.....	9
2.5 Estructura espacial de la fauna edáfica: Geoestadística y SADIE.....	10
3. Formulación del problema y justificación.....	10
3.1 Problema.....	10
4. Objetivos.....	11
4.1 Objetivo general.....	11
4.2 Objetivos específicos.....	11
5. Hipótesis y predicción.....	11
6. Materiales y métodos.....	12
6.1 Área de estudio.....	12
6.2 Diseño de investigación.....	13
6.3 Materiales y Métodos.....	11
6.3.1 Fase de campo.....	13
6.4 Análisis de la información.....	13
6.4.1 Fase laboratorio.....	14
6.4.2 Análisis estadísticos.....	14
6.4.3 Análisis espacial.....	15
7. Resultados.....	22
8. Discusión.....	35
9. Conclusiones.....	36
10. Recomendaciones.....	48
11. Referencias.....	49

**Efecto del uso del suelo sobre la abundancia y distribución espacial de la
artropofauna edáfica asociada a la hojarasca en bosque y cafetal (Montenegro,
Quindío)**

LUCAS ANDRES GORDILLO TORO

APROBADO

Amanda Varela, Ph. D.

Adriana Sáenz MSc

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Numero individuos por familia por muestra y su error estándar en el cultivo y bosque.

Figura 2. Porcentaje por grupo en las coberturas estudiadas. a. Cultivo B. Bosque.

Figura 3. Mapas de distribución de los taxones más abundantes en el bosque. a. Acariformes, b. Coleoptera, c. Collembola, d. Diptera, e. Pseudoescorpionidae y f. Hymenoptera.

Figura 4. Mapas de distribución de los taxones más abundantes en el cultivo. a. Acariformes, b. Collembola y c. Hymenoptera

Figura 5. Mapa de distribución de la biomasa en el cultivo.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Grupos taxonómicos encontrados en las 2 coberturas evaluadas (Cultivo de café y Bosque). X: Grupo encontrado en ambas coberturas. o: Grupo encontrado sólo en el cultivo de café. *: Grupo encontrado sólo en el Bosque.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las variables bióticas y abióticas. **S**: desviación estándar, **S²**: varianza, **CV**: coeficiente de variación.

Tabla 3. Estadísticos de SADIE (Spatial Análisis for Distance Indices). **Pa**: significancia del índice de distancia, **Vj (media)**: media de los puntos con valores que aportan a claros, **P (Vj media)**: significancia de la media Vj, **Vi (media)**: media de los puntos con valores que aportan a parches, **P (Vi media)**: significancia de la media de Vi, $\alpha=0.05$.

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Mantel entre los grupos más abundantes y porcentaje de humedad, biomasa de la hojarasca y profundidad de esta. *Correlación significativa ($P<0,05$)

Tabla 5. Estadísticos SADIE para la distribución de la biomasa en el cultivo.

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Mantel entre los grupos funcionales y los factores abióticos del ecosistema. * $p< 0,05$

RESUMEN

Se determinó la abundancia, composición y distribución espacial de la artropofauna edáfica asociada a la hojarasca tanto en un bosque como en un cultivo de café asociado con plátano y, si existían correlaciones entre características abióticas de la hojarasca y la fauna acá presente. Para esto se realizó un muestreo en una cuadrícula de 20 x 20 m con muestras de 25 x 25 cm tomadas cada 2,5 cm en ambas coberturas. La extracción de la fauna se realizó mediante embudos Berlese y también manualmente. Luego se realizó la identificación al menor nivel posible de los organismos encontrados y en lo posible clasificarlos en diferentes grupos funcionales. No hubo diferencias en la abundancia de la artropofauna entre cultivo y bosque, pero sí hubo diferencias en la composición de los grupos taxonómicos. Los coeficientes de variación en general fueron altos para los grupos taxonómicos, esto se debe a la diferencia de organismos encontrados en puntos adyacentes en la cuadrícula, consecuencia de esto es también los pocos valores significativos de agrupación. Ningún grupo taxonómico presentó una distribución agregada. Solamente la biomasa de la hojarasca presentó una distribución agregada tipo parche. El grupo funcional micropredadores mostró una correlación positiva con la biomasa del bosque al igual que lo hicieron los transformadores de hojarasca con la profundidad de esta en la misma cobertura. Finalmente se concluye que la escala es importante en la determinación del patrón espacial y que las modificaciones del suelo, como las hechas en los cultivos pueden afectar diferencialmente a los artrópodos de la hojarasca.

Palabras clave: Artrópodos, cafetal, hojarasca, distribución, SADIE.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas naturales en los últimos años se han venido transformando, generando pérdida de heterogeneidad y consecuentemente pérdida de hábitat, lo que finalmente altera la estabilidad de los ecosistemas, del suelo y de la cobertura vegetal (Guhl 2004). Esto es generado por el constante cambio que sufren las zonas naturales como los bosques, por matrices de paisajes agrícolas, como lo son los cultivos de café, ocasionando que por los factores nombrados, los ciclos bioquímicos, la disposición de recursos y finalmente el ciclaje de nutrientes, en donde la fauna edáfica es uno de los principales actores, se vean afectados (Ettema & Wardle 2002; Robertson 2005). Nuestro país es un ejemplo de esta situación, debido a que el crecimiento poblacional ha venido aumentando vigorosamente, lo que ha ocasionado que tierras vírgenes sean utilizadas con fines agroindustriales (Etter *et al.* 2006).

Los cafetales entonces constituyen un modelo a estudiar por sus implicaciones económicas, políticas y sociales en el país, y por los cambios que ha experimentado a través de los años. No hay suficiente ni certero conocimiento sobre el efecto que causa la reducción de variabilidad vegetal sobre el suelo y los procesos que aquí se llevan a cabo, es sólo en algunos ecosistemas, como bosques en sucesión o bosques nublados donde se han llevado a cabo estudios sobre esta temática (Negrete-Yankelevich 2004, Negrete-Yankelevich *et al.* 2006), pero prácticamente sobre los cafetales es muy poco lo que se sabe.

Debido a esto es que en este estudio se quiere determinar el efecto que sufre el ecosistema debido a la homogenización de la vegetación y por consiguiente de la hojarasca, en los cultivos de café. Todo con el fin de poder establecer y conocer algunos factores que influyen la composición y la distribución espacial de la artropofauna edáfica y proponer las implicaciones de esto sobre los procesos que determinan la estabilidad de los ecosistemas.

2. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El suelo

La palabra suelo se deriva del latín *solum*, que significa suelo, tierra o parcela. Este es un sistema estructurado, biológicamente activo, que tiende a desarrollarse en la superficie de las

tierras emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos (Coleman *et al.* 2004; Bardgett 2005).

Las condiciones de los suelos para su uso se determinan según su relieve, pendiente, drenaje natural, inundabilidad, permeabilidad, discontinuidad, retención de humedad, pedregosidad, erosión, textura, profundidad efectiva y nivel de fertilidad. De acuerdo con las características de los suelos por su capacidad de uso, el IGAC adoptó oficialmente el sistema de clasificación de tierras adaptado del sistema del departamento de agricultura de Estados Unidos (IGAC 2004).

Estudios en Colombia demuestran que este es un país con una gran cantidad de agroecosistemas de importancia económica y cultural, el 70 % de los suelos son forestales y el 11% son agrícolas, pero actualmente sólo se emplea alrededor del 5% de estos para la agricultura, lo que muestra que la mayoría de cultivos en el país se dan en suelos no aptos para tal fin (Montenegro 2007). Siendo así se puede decir que alrededor del 65% de los suelos colombianos están en conflicto de uso, es decir que el uso de un territorio (agrícola, forestal, minero, entre otros), ni garantiza ni ayuda a la preservación de los recursos del suelo, por no estar en relación con las capacidades de uso que definen las propiedades y características químicas y físicas del suelo (Montenegro 2007). Aparte de esto existe una intensificación de las prácticas agrícolas (causada por factores como la mecanización, pérdida de materia orgánica, malos sistemas de riego, compactación y alcalinización del suelo), que buscan aumentar las tasas de producción de alimentos que se realizan en la región andina, más específicamente en la zona cafetera (Castro 1999). Efectos notables de esto es un deterioro sostenible y de largo plazo que afectan el suelo, disminuyendo notablemente su productividad y perturbando así a la fauna y flora del lugar (IGAC 2004; Jiménez *et al.* 2003a).

Por otra parte se sabe que en algunos sistemas agroforestales, la diversidad permite una mayor sostenibilidad porque contribuye con el ciclaje de nutrientes, flujo de energía y descomposición de compuestos orgánicos (Alessandria *et al.* 2002) lo que permite una disminución en el uso de agroquímicos.

Una parte importante del suelo es la hojarasca. Existen varias definiciones de este término, y según Ibáñez (2006) esta es uno de los componentes de los horizontes del suelo y se denomina horizonte A00, el cual está constituido por restos vegetales como hojas secas, frutos, trozos de corteza, entre otros. Otra definición proviene de Beare (1995), en la cual se emplea el

término detritosfera, ya que constituye un hábitat complejo y uno de los estratos con mayor importancia debido a la presencia de actividad microbiana y de fauna edáfica, de la cual se desprende una gran actividad descomponedora, y que finalmente reduce la hojarasca a CO₂, H₂O y algunos minerales como N, K, S, Mg, P, Na, entre otros (Moorhead *et al.* 1998.). Una última definición pero no menos importante dice que la hojarasca es parte de los horizontes Oi y Oe de la naturaleza orgánica (Coleman *et al.* 2004).

Por otro lado Lavelle (1984) dentro de su clasificación de los sistemas de regulación biológica, incluye a la hojarasca como uno de los cuatro que propone, entre los que se encuentran, la rizosfera que se constituye por la interacción entre raíces, micro y macrofauna. La drilosfera constituye otro sistema planteado y es formado por las lombrices, la microbiota asociada, los turrículos y las galerías. También está la termitosfera, constituida por las termitas, sus estructuras y la microbiota asociada y, la por último la capa superficial de raíces-hojarasca.

La hojarasca provee un espacio físico o un nicho para las comunidades edáficas, como medida de protección frente a un disturbio (Kroos & Schaefer 1998). Además proporciona una gran variedad de recursos y a la vez una mayor complejidad estructural que favorece la disponibilidad de microhábitats y por ende la diversidad de las comunidades edáficas. También afecta la actividad de la microbiota edáfica, manteniendo de manera constante la humedad y temperatura, estimulando procesos de descomposición de la materia orgánica a través de la mineralización de nutrientes (Berberena-Arias & Aide 2003; Wardle & Lavelle 1997).

Es de gran importancia mencionar que en los ecosistemas terrestres, la hojarasca constituye un recurso que afecta la productividad primaria neta del sistema (Swift & Anderson 1993). Se ha dicho que el número de especies que hacen parte de la fauna edáfica y que al mismo tiempo actúan activamente en los procesos de fragmentación de la materia orgánica durante la descomposición, son esenciales en el mantenimiento de las propiedades y el correcto funcionamiento del ecosistema. Esto debido al papel que juegan en el control de la disponibilidad de nutrientes, el ciclo del carbono y en consecuencia en el crecimiento de las plantas y la estructura de la comunidad (Wardle 2002).

También existen estudios que muestran el lado negativo de la hojarasca. Wallwork (1976) y Williams (1959) sugieren que la capa de hojarasca impide la movilidad de algunos animales

presentes en la superficie del suelo, afectando la distribución de la fauna edáfica y por tal la abundancia de ciertos organismos.

Un proceso vinculado a la hojarasca es la descomposición. Aerts (1997) se refirió a este como procesos físicos y químicos involucrados en reducir la hojarasca a sus constituyentes químicos elementales. Tiempo atrás se dio una descripción de dos procesos fundamentales para la descomposición de la hojarasca; dichos procesos son la humificación y la mineralización (Swift *et al.* 1979; Coûteaux *et al.* 1995). En el primer proceso se condensan anillos aromáticos amorfamente, cadenas peptídicas y compuestos cíclicos nitrogenados (Coyne 1999); además este proceso cementa las partículas del suelo, lo que forma unidades estructurales, conserva nutrientes, energía y ayuda a la retención de cationes intercambiables, todo lo cual finalmente contribuye a darle una mayor fertilidad al suelo (Lavelle *et al.* 1993). La mineralización es definida como la transformación de compuestos orgánicos en compuestos inorgánicos disponibles para las plantas y microorganismos (Coyne 1999).

Dentro del proceso de descomposición se distinguen tres fases reguladas por factores que de manera jerárquica según Lavelle (1993) que son: el clima, seguido por factores como las características intrínsecas de las hojas, la biota desintegradora y características propias del suelo (Swift & Anderson 1989; Álvarez & Harmon 2003)). Una de estas fases es la fragmentación, que consta del fraccionamiento y destrucción física de los tejidos por la acción de procesos bióticos, como el pisoteo o consumo y, por procesos abióticos. La segunda fase es el catabolismo, un proceso en el cual la microbiota por medio de enzimas convierte los compuestos a su forma inorgánica (acá se lleva a cabo la liberación de nutrientes) y, finalmente la lixiviación que es la remoción o pérdida a través de lavado de materiales solubles (Rodríguez 1998; Alvarez-Sanchez & Harmon 2003).

Como resultado de la descomposición, se genera un flujo de moléculas orgánicas e inorgánicas desde la materia orgánica hasta el suelo, condicionando las características físicas y químicas por variables climáticas (Schaefer 1973; Sain & Broadbent 1977), lo que afecta la actividad de los grupos microbianos que llevan a cabo la degradación de materia orgánica, y por la meso y macrofauna edáfica que contribuyen a la descomposición, al fragmentar la hojarasca e ingerir materia orgánica (Swift *et al.* 1979; Verhoef & Brussaard 1990). El aporte de materia orgánica provee una fuente de alimento y energía extra para todo tipo de fauna presente y responsable de llevar a cabo los ciclos bioquímicos en la naturaleza, presentando

efectos directos e indirectos sobre la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento vegetal y, sirviendo como fuente de S, N y P que son liberados a través de la mineralización llevada a cabo por los organismos del suelo (Silva *et al.* 1992).

2.2 Entomofauna edáfica

La descomposición y el ciclaje de nutrientes están regulados por factores fisicoquímicos, ambientales, la calidad del sustrato y la comunidad de organismos descomponedores. Estos organismos están representados por la microbiota (hongos y bacterias) y la fauna edáfica (Lavelle *et al.* 1993; Joffre & Ágren 2001).

La naturaleza de la biota del suelo varía según la composición química de los sustratos; algunos grupos predominan por periodos de tiempo muy cortos, como días, otros mantienen abundancias altas durante largos periodos (Alexander 1981). La fauna edáfica puede clasificarse de diferentes formas dependiendo de su uso de hábitat, función y tamaño (Fragoso *et al.* 1999). La clasificación basada en la función fue descrita por Lavelle (1996) dentro de la cual se encuentran: micropredadores, transformadores de hojarasca e ingenieros del ecosistema. Estas divisiones dependen de la constitución y cantidad de estructuras producidas por los organismos del suelo y además de la eficiencia del sistema digestivo de estos (Lavelle 1997; Jiménez *et al.* 2003a).

Los micropredadores (nematodos, protozoos y ácaros, los cuales son importantes predadores de bacterias y colémbolos) no producen ninguna estructura, pero son muy importantes para la liberación de nutrientes ya que tienen un impacto significativo sobre la población de microorganismos y liberan nutrientes inmovilizados en la biomasa microbiana (Lavelle 1997; Lavelle & Spain 2001; Jiménez *et al.* 2003a).

En cuanto a los transformadores de hojarasca son mayormente organismos que se encuentran dentro de la mesofauna y algunos pertenecientes a la macrofauna como por ejemplo insectos dentro de los Diptera (Sciaridae). Estos organismos se alimentan de materia orgánica y desarrollan un mutualismo externo con la microbiota (rumen externo) (Jiménez *et al.* 2003a). Estos pequeños artrópodos pueden ser predadores y por lo tanto digerir parte de la masa microbiana y los recursos orgánicos fragmentados y humedecidos durante el paso por el

intestino, lo que los hace más disponibles para los microorganismos (Lavelle *et al.* 1997; Lavelle & Spain 2001).

Finalmente están los ingenieros del ecosistema que incluyen a la macrofauna, dentro de los cuales se encuentran termitas, hormigas y lombrices, las cuales son capaces de desarrollar relaciones mutualistas con la microbiota en su sistema digestivo y producen estructuras físicas que modifican el perfil del suelo (Jones *et al.* 1994). Esto permite una disponibilidad de nutrientes para otros organismos y de esta manera modifican otros ensamblajes de organismos (Jiménez *et al.* 2003a).

Por otro lado existe la clasificación según el tamaño (Swift *et al.* 1979) dentro de la cual se encuentra la micro, meso y macrofauna. Dentro de la microfauna se encuentran organismos con un diámetro menor a los 0.2 mm, viven en el agua libre del suelo y son muy dependientes según sean las condiciones de este. Generalmente, debido a su tamaño estos organismos no tienen la capacidad de modificar el perfil del suelo mediante cambios físicos (Swift *et al.* 1979; Rojas & Fragoso 1994; Lavelle & Spain 2001). Ejemplo dentro de estos organismos son los nematodos, protozoos y rotíferos.

Siguiendo esta clasificación se encuentra la mesofauna, la cual está constituida por organismos que poseen un diámetro entre los 0,2 y 2 mm. Viven en la hojarasca o poros del suelo, pueden mover hojarasca y el suelo y poseen respiración aérea (Swift *et al.* 1979; Rojas & Fragoso 1994; Lavelle & Spain 2001). Por último se encuentran los organismos pertenecientes a la macrofauna, los cuales están constituidos por animales con un diámetro mayor a los 2 mm lo cual los hace fáciles de localizar. Son capaces de modificar el perfil del suelo mediante estructuras y galerías, así como son capaces de modificar químicamente este. (Swift *et al.* 1979; Rojas & Fragoso 1994; Lavelle & Spain 2001).

Una última clasificación se basa en la distribución vertical y el recurso utilizado por la macrofauna: epígeos, anécicos y endógenos (Fragoso *et al.* 1999). Los epigeos son los organismos que viven y se alimentan de la hojarasca, motivo por el cual se expuestos a las condiciones que esta presenta, algunas características de adaptación para este medio son por ejemplo la pigmentación y una gran mortalidad, compensada una alta tasa reproductiva.

Los anécicos además de alimentarse de la hojarasca también se alimentan del suelo, y son capaces de transportar esta primera a grandes profundidades por medio de galerías. Por último, los endógenos son los que se alimentan sólo de las capas profundas y medias del suelo (Lavelle 1997).

La diversidad de la macrofauna, mesofauna, microfauna y el contenido de biomasa de esta en diferentes estratos de un agroecosistema es utilizada como bioindicador del estado del ecosistema, debido a que estos organismos son relativamente fáciles de muestrear en comparación con otros grupos, lo que permite obtener grandes tamaños de muestra que garantizan la obtención de resultados de alta confiabilidad. Así mismo estos organismos poseen tiempo de generación relativamente cortos que determinan la capacidad de responder rápidamente a un cambio en el ambiente (Duelli *et al.* 1999). Mayoritariamente individuos de los ordenes Aranae, Coleoptera, Himenoptera y Hemiptera han sido utilizados como indicadores de la calidad del hábitat (Peck 1998; Wheeler *et al.* 2000).

Según lo mencionado se podría decir que pequeños cambios en la abundancia y en la riqueza del ensamblaje de artrópodos podrían afectar las interacciones entre las especies, la dinámica de nutrientes y así mismo la productividad, estructura de la vegetación y composición, ocasionando alteraciones en el mantenimiento y estabilidad de los procesos del ecosistema, elementos esenciales de la sostenibilidad de un sistema de producción (Naeem *et al.* 1995; Lawton *et al.* 1996; Carrera 1999).

En Colombia se han realizado varios estudios sobre la densidad y biomasa de macrofauna en diferentes usos del suelo como cafetales, pastizales y bosque secundario, mostrando diferencias en cada uno de estos y se sugiere que estos organismos expresan su población y biomasa a respuestas ambientales asociadas más con la estructura del agroecosistema que con la variación física o química del hábitat (Pardo *et al.* 2006; Coral & Bonilla 2002; Jiménez *et al.* 2001).

2.3 Ecosistemas agrícolas

Los ecosistemas son hábitats autosuficientes en los que los organismos vivos y el medio inorgánico, actúan de forma recíproca para intercambiar materia y energía (Rodríguez 1992). Aunque según este autor las variaciones que se dan en el sistema las provocan las plantas que

se quieren aprovechar, las características del cultivo, los límites de espacio y tiempo, las especies de artrópodos asociados y la distribución de una especie entre tantas otras.

Colombia posee lugares con ecosistemas importantes en cuanto a diversidad global se refiere. Esto debido a que aquí se encuentra una gran cantidad de especies importantes para la mayoría de sistemas ecológicos (Ninasn & Sathyapalan 2005), aunque con el paso del tiempo, y debido a un mal uso de los suelos y de los sistemas de cultivo (mecanización excesiva, uso indiscriminado de plaguicidas), el número de especies que se pueden encontrar han ido disminuyendo.

En nuestro país con la intención de aumentar la producción agrícola se ha venido manejando dos tipos de cultivo (Londoño 1990), los monocultivos y los policultivos o multicultivos, en otras palabras cultivos asociados con otro tipo de cultivos (ej. Café-plátano). Los monocultivos aunque se puede decir que aprovechan al máximo el suelo para la producción agrícola, poseen problemas como el desequilibrio biológico por la disminución de especies benéficas, parasitoides y depredadoras, cambios en los hábitat por intensificación de este manejo, deterioro gradual de los recursos naturales y el del suelo, erosión y destrucción de la variabilidad genética con consecuencias de una productividad muy baja a costos exagerados (Londoño 1990; Arnebrecht y Perfecto 2003).

En cuanto a los cultivos asociados, según Hart (1975) son sistemas en los cuales dos o más especies cultivadas se siembran con suficiente proximidad en el espacio, para resultar en una competencia interespecífica para un recurso limitante. También se define como el uso racional y adecuado de los espacios mediante el cultivo de diferentes especies en barrera, utilizando de mejor forma la energía solar para obtener una mayor densidad poblacional, mediante la utilización de los espacios verticales u modificando el criterio de sombra transitoria o permanente (Londoño 1990).

La siembra de este tipo de cultivos implica tres situaciones: complementación, competencia y compatibilidad. La complementación ocurre cuando las labores culturales requeridas por una especie son de mutuo beneficio o cuando una especie mejora las condiciones del medio o libera sustancias que favorecen a la otra especie asociada; la segunda situación dice que existe una competencia inter-específica para un recurso limitante (H₂O, CO₂, luz, nutrientes, entre

otros) y como último en la compatibilidad de una especie admite la producción de otra sin o con poco daño sobre su propio crecimiento (Arias *et al.* 1992).

Según García & Davis (1985) y Arias *et al.* (1992) las ventajas que este tipo de sistema de cultivo generan menor riesgo de pérdida por factores de estrés o enfermedad, mayor estabilidad de producción del sistema como un todo, mantenimiento de la diversidad genética, lo que genera una mayor estabilidad ecológica facilitando el manejo de plagas y enfermedades, aumento en la rentabilidad del cultivador y finalmente la disminución de costos de producción.

Existen cuatro especies de café que se cultivan ampliamente y son los más comerciales: café arábigo (*Coffea arabica* L.), café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex froehner), café liberiano (*Coffea liberica* Mull ex Hiern) y café excelso (*Coffea excelsa* A. Chev). La variedad sembrada en Colombia es el café arábigo (cerca de 873, 682, 78 ha), esta es la especie más importante económicamente hablando, ya que un 85% de la producción mundial de café es de esta variedad (FEDECAFE 2006). La temperatura adecuada para este cultivo va desde los 19 a los 21,5 °C, aunque los valores extremos aceptados son de 29 y 14°C (FEDECAFE 1990; DaMatta 2004). En cuanto la precipitación adecuada para este cultivo, se puede decir que varía desde los 750 hasta los 3000 mm anuales y la altitud ideal de 1200 a 1700 m.s.n.m. (SENAFAD 1985).

Aun dada la importancia de este cultivo en Colombia, son prácticamente nulos los estudios que se han realizado sobre la distribución espacial de la fauna edáfica en los cafetales. Los esfuerzos mayoritariamente se han concentrado en bosques naturales o pastizales, y aun más restringidos para unos pocos grupos de artrópodos (Jiménez *et al.* 2003b; Jiménez & Rossi 2006; Jiménez *et al.* 2001; Decaëns & Rossi 2001).

2.4 Heterogeneidad espacial

Este término hace referencia a una característica de los sistemas ecológicos, en los cuales la variabilidad o complejidad de las propiedades del ecosistema a través del espacio y en el tiempo se ven reflejadas (Dutilleul & Legendre 1993). Se ve como un mosaico de parches que son el reflejo de la distribución de los organismos en respuesta a factores abióticos y bióticos dados en el hábitat (Kolasa&Pickett 1991; Dutilleul & Legendre 1993). Esta también tiene un influencia en los procesos ecológicos como el comportamiento de forrajeo y anidación, la densidad de la población, disponibilidad de nutrientes y permite una alta diversidad de especies

a través de la competencia que se genera. Esto gracias a la interacción entre la dinámica poblacional y las propiedades del ecosistema (Powell&Rucherson 1985; Dutilleul&Legendre 1993). De igual modo reduce el impacto de la predación, el parasitismo, incrementa la estabilidad poblacional y ayuda a mantener el polimorfismo genético intraespecífico (Nachman 1982; Gilinsky 1984; Pringle 1990; Lechowicz & Bell 1991).

Vale la pena decir que la heterogeneidad espacial varía según la escala de observación, factores como la extensión o área analizada y el grado de resolución de los datos afectan la interpretación y cuantificación de la variabilidad ecológica y por ende la heterogeneidad (Li & Reynolds 1995). Siendo así la heterogeneidad puede ser medida de diferentes formas dependiendo de las características de los datos, ya que pueden ser espaciales o no espaciales, dependiendo si se hace referencia o no la localización de la muestra (Li & Reynolds 1995).

Para el análisis de los datos no espaciales se utilizan métodos como los índices de diversidad y pruebas estadísticas como Kolmogorov-Smirnov, Bartlett y prueba *t* de Student (Sokal & Rohlf 1981). Los datos de tipo espacial se analizan según la distribución de las variables o de los individuos, ya sea que se encuentren de forma continua o discreta. Para este último tipo de variables, se usan métodos como el vecino más cercano, parámetro *k* de la distribución binomial negativa (Pielou 1977) y estadísticos de la varianza del tamaño de bloque (Grig-Smith 1983). Las variables continuas (Cressie 1991) se pueden calcular mediante la geoestadística (variograma y correlograma), índices de autocorrelación y parcheado, dimensión fractal y mapas categóricos entre varios otros (Cliff&Ord 1981).

Perry & Hewitt (1991) introdujeron una prueba basada en índices de modelos espaciales, SADIE (Análisis espacial por índices de distancia), ya que según ellos las medidas tradicionales carecen de relaciones directas entre sus componentes y el movimiento de los individuos, además no se usa la información espacial de la muestra; posteriormente Alston (1994) y Perry (1994) aplicaron y mejoraron este método.

2.5 Estructura espacial de la fauna edáfica: Geoestadística y SADIE

La geoestadística y SADIE se utilizan para el análisis espacial, utilizan unidades de muestro espacialmente referenciadas (coordenadas X – Y, puntos georeferenciados), aunque poseen diferencias significativas tanto en sus variables como en su principios y procedimientos. Aunque

desarrollada inicialmente para realizar estudios geológicos (Matheron 1965), la geoestadística se utiliza ahora también para estudios biológicos enfocados en los suelos, a pesar de desarrollarse para variables continuas (Ettema & Wardle 2002), mientras que SADIE se desarrollo para la biología, para variables discretas, es decir que tiene en cuenta conteos (Perry *et al.* 1999).

Hablando específicamente de la geoestadística esta utiliza la variabilidad, la interpolación de valores y autocorrelación (utilizados para la variografía y el kriging) (Rossi *et al.* 1992; Giraldo-Henao 2002). El primer término, la variabilidad, hace referencia a los cambios en el espacio o el tiempo, en el valor de una propiedad específica (Ettema & Wardle 2002). La interpolación de valores se refiere a la generalización de un patrón basado en datos obtenidos en un espacio; en otras palabras la obtención de valores en sitios donde no se tomaron muestras, y la autocorrelación es la dependencia espacial, la manera de cuantificar la similitud entre vecinos, como función de la distancia de separación (Ettema & Wardle 2002). El kriging utiliza la interpolación de los datos, y así se proveen estimados para locaciones no muestreadas. Por otro lado la variografía modela la dependencia espacial y la variabilidad mediante variogramas, en los cuales se grafican la varianza observada entre pares de puntos de muestreo en diferentes distancias (eje X= distancia y eje Y= varianza) (Rossi *et al.* 1992).

Por otra parte SADIE fue diseñado para cuantificar la distribución espacial de poblaciones de artrópodos, que se caracterizan por presentar datos con elevado número de ceros en sus abundancias relativas y distribuciones alejadas de la normal (Nansen *et al.* 2004; Perry *et al.* 1996); aspectos que hacían difícil la utilización de los métodos tradicionales (Maestre 2003). Este programa estima modelos de distribución espacial de variables discretas y continuas previamente categorizadas, y evalúa estadísticamente si el patrón espacial de los datos difiere de la aleatoriedad. Para esto realizan pruebas de aleatorización, donde se obtienen dos índices, el índice de agregación (I_p) y el índice de agrupamiento (v), y se determina qué: valores de $I_p > 1$ indican agregación, $I_p < 1$ regularidad y $I_p = 1$ aleatorización (Perry *et al.* 1996). Además cuantifica el grado en el que cada valor de la variable en su posición, contribuye al patrón espacial general de los datos en forma de un mancha o parche (zona donde el valor de la variable es alto ($v > 1,5$) o de un claro (zona donde el valor de las variables es bajo ($v < -1,5$)). Valores entorno a uno (1) indican distribución aleatoria de esa posición (Perry *et al.* 1999).

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

3.1 Problema y justificación

El constante cambio de las zonas naturales como los bosques, por matrices de paisajes agrícolas como los cultivos de café está generando una pérdida o transformación del hábitat, lo que consecuentemente altera la estabilidad de estos ecosistemas (Guhl 2004), del suelo y de la cobertura vegetal, lo que finalmente conlleva a que los ciclos bioquímicos, la disposición de recursos y el ciclaje de nutrientes dado por la fauna edáfica se vean afectados (Ettema & Wardle 2002; Robertson 2005). Nuestro país es un ejemplo de esta situación, debido a que el crecimiento poblacional ha venido aumentando vigorosamente, lo que ha ocasionado que tierras vírgenes sean utilizadas con fines agroindustriales (Etter *et al.* 2006).

La siembra de monocultivos en los agroecosistemas cafeteros, genera una reducción gradual de los recursos naturales, los que incluyen el suelo y un desequilibrio biológico por deterioro y disminución de especies en general, causados por la menor heterogeneidad presente en este tipo de cultivos (Etter 1997). Por otro lado los cultivos asociados pueden generar algunas ventajas frente a los monocultivos, dentro de las cuales se encuentran una mayor estabilidad tanto ecológica como del sistema de producción.

Esta problemática está ocasionando que se presenten cambios tanto ecológicos como de patrones de distribución, por lo que se considera un factor de suma importancia el estudio de los patrones espaciales de los organismos de la fauna edáfica, para así poder profundizar en aspectos desconocidos e importantes del ensamblaje de las especies que allí habitan como los son la estructura y funcionalidad de estos organismos en dichos ecosistemas. El café se considera un buen modelo por que a través del tiempo ha sufrido un proceso de homogenización y al ser comparado con un bosque se pueden ver las diferencias existentes entre un ecosistema natural y un agroecosistema.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Determinar si el cambio de uso de suelo de bosque subandino a cultivo de café asociado a plátano afecta la abundancia, composición y estructura espacial de la artropofauna edáfica presentes en la hojarasca, y ver si estos atributos de la edafofauna se relacionan con la humedad, profundidad y biomasa de la hojarasca en la zona de Montenegro (Quindío, Colombia)

4.2 Específicos

- Comparar la abundancia y la composición de la artropofauna asociada a la hojarasca entre un cafetal y un bosque subandino.
- Relacionar la humedad, la profundidad y la biomasa de la hojarasca con la abundancia y la estructura espacial de la fauna encontrada tanto en el bosque como en el cultivo de café asociado con plátano.
- Evaluar los patrones de distribución espacial de la artropofauna encontrada en la hojarasca presente en un cafetal asociado con plátano y un bosque.

5. PREGUNTAS DE INVESTIGACION, HIPOTESIS Y PREDICCIONES

- 1) ¿Existen diferencias entre el cultivo de café asociado con plátano y el bosque en la abundancia y en la composición de fauna edáfica presente en la hojarasca?

Hipótesis 1

La abundancia y la variación de la artropofauna edáfica presente en la hojarasca será mayor en el bosque que en el cultivo de café asociado con plátano, debido a la mayor variabilidad en la composición vegetal en este último.

Predicción 1

La cantidad de individuos por unidad de área de la meso y macrofauna de la hojarasca, el coeficiente de variación y la varianza de la fauna edáfica en la hojarasca serán mayores en el bosque en comparación con el cafetal asociado con plátano.

2) ¿Existe una relación de la abundancia de la artropofauna edáfica presente en la hojarasca con la humedad y la profundidad de la hojarasca, tanto en un cultivo de café asociado con plátano como en un bosque subandino?

Hipótesis 2

La relación de la abundancia de la fauna de la hojarasca, con la humedad y la profundidad será directa y en los taxones más sensibles a los cambios de las condiciones, tanto ambientales como de la hojarasca. La relación será más fuerte que para los taxones más resistentes para estas condiciones. Esto se debe a que la fauna edáfica responde diferencialmente a rangos óptimos y rangos de tolerancia de variables abióticas.

Predicción 2

El número de individuos de la meso y macrofauna de la hojarasca, por unidad de área será mayor a medida que el porcentaje de humedad y la profundidad de esta aumente en los taxones más susceptibles a cambios es la variable; en otras palabras en los taxones con rangos más estrechos de tolerancia a cambios de humedad de la hojarasca tanto en el cultivo de café como en el bosque.

3) ¿Existe diferencia entre un cultivo de café asociado con plátano y un bosque, en cuanto a la estructura espacial de los grupos funcionales y de los taxones de la meso y macrofauna edáfica más abundantes en la hojarasca y atributos como la humedad y la profundidad de la hojarasca?

Hipótesis 3

Al comparar la estructura espacial en el cultivo y en el bosque para los grupos funcionales y taxonómicos de la meso y la macrofauna con mayor densidad y para el porcentaje de humedad y profundidad de la hojarasca, esta será más fina o poco detectable en el bosque, debido a que los organismos responden diferencialmente a atributos de la hojarasca como la humedad.

Predicción 3

El tamaño del parche (número de puntos de muestreo donde se agrupa la fauna edáfica) será menor en el bosque que en el cultivo, es decir, que tanto para los valores de abundancia de los taxones como para los atributos de la hojarasca, como el porcentaje de humedad, las distancias de agrupación van a ser más pequeñas en el bosque y por lo tanto menos detectables.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio

El proyecto se llevará a cabo en el municipio de Montenegro, cuenca del río la Vieja en el departamento de Quindío (Colombia), en donde se estudiará la fauna edáfica presente en la hojarasca en un bosque subandino y un cultivo de café (*Coffea arabica* L.) asociado con plátano (*Musa* sp.). Las coberturas vegetales antes mencionadas se encuentran separadas entre sí por una distancia de alrededor de 200 m y cuyas coordenadas geográficas se encuentran entre los paralelos 04° 32' N y los meridianos 75° 52' W. El bosque se encuentra en la finca la Ilusión ubicada a una altura de 1171 m.s.n.m. este bosque es un fragmento de más de 50 años y corresponde a un bosque húmedo montano subandino (Etter 2006).

El cultivo de café encontrado en la finca la Alegría, ubicada en la Vereda Calle Larga, se encuentra a una altura de 1192 m.s.n.m. este cultivo está compuesto por *C. arabica* var. Caturra mezclado con plátano (género *Musa*).

6.2 Diseño de la investigación

Este proyecto es de tipo comparativo con un factor de diseño que es el uso del suelo con dos niveles, cultivo de café asociado a plátano y bosque. Las variables de respuesta serán la densidad, la composición de la fauna de la hojarasca, la estructura de los grupos funcionales de la fauna de la hojarasca, la estructura de los taxones de la fauna de la hojarasca, el porcentaje de humedad y la profundidad de la hojarasca. La unidad de respuesta será cada muestra de hojarasca tomada en cuadrantes de 25 x 25 cm, mientras que la unidad de muestreo será la cuadrícula delimitada en el área de 20 m x 20 m. La población de estudio son los individuos del Phylum Arthropoda asociados a la capa de hojarasca de ambos ecosistemas.

6.3 Materiales y Métodos

6.3.1 Fase de campo

La metodología se basa en el trabajo realizado por Rueda (2007). Para la recolección de muestras se utilizará una cuadrícula de 20x20 m para ser ubicada en cada uso de suelo. Dicha

cuadrícula será dividida en cuadrados de 25 x 25 m lo que genera un total de 81 puntos de intersección (puntos de muestreo). En cada intersección se delimitará un pequeño cuadrado (2,5 x 2,5cm) en donde se recogerá la hojarasca presente en este. Esta se cernirá mediante un tamiz con un tamaño de poro de alrededor de 1cm² durante 5 minutos aproximadamente (dependiendo de la humedad de la muestra), luego la muestra será empacada en bolsas plásticas las cuales serán identificadas con las coordenadas del punto de muestreo y el ecosistema específico (Cu=cultivo y Bo= bosque).

La extracción de la meso y macrofauna en la hojarasca recolectada en ambos sitios se realizará primero mediante la extracción manual *in situ* y con la utilización de embudos Berlese con ausencia de fuente de luz durante 48 horas y con fuente de luz durante otras 48 horas posteriores al uso sin fuente de luz. Esto con el fin de lograr la captura de algunos organismos susceptibles a la desecación. Los organismos encontrados serán preservados en alcohol al 70% en frascos entomológicos debidamente marcados.

6.4 Análisis de información

6.4.1 Fase de laboratorio

Se realizará la identificación de los organismos al nivel mínimo posible y el conteo de los mismos. Para la identificación de la fauna edáfica, se utilizarán diferentes claves como: Krantz (1978), Arnett *et al.* (1980), Borror *et al.* (1989), Naumann *et al.* (1990), Hoffman *et al.* (1996), Lawrence *et al.* (2000), Adis (2002) y Fernández & Sharkey (2006). Los grupos de organismos encontrados serán conservados en frascos entomológicos con alcohol al 70%. También se clasificarán los organismos de acuerdo a los “grupos funcionales” según Lavelle (1996) en transformadores del ecosistema, ingenieros del ecosistema y micropredadores.

Para la determinación del porcentaje de humedad de las muestras de hojarasca se realizará primero el cálculo del peso fresco y luego se secarán en horno a 80°C durante un mínimo de 48 horas. Posteriormente se realizará el cálculo del porcentaje de humedad mediante la ecuación:

$$H = 1 - \left[\frac{\text{peso seco}}{\text{Peso fresco}} \right] \cdot 100$$

6.4.2 Análisis estadísticos

Sólo los grupos que presenten una gran abundancia serán tenidos en cuenta para los posteriores análisis, es decir los grupos que presentan más de un individuo en promedio por muestra o más de 50 individuos (Rueda 2007). Para estimar la abundancia relativa se realizará un conteo de los individuos y así mismo de los órdenes taxonómicos recolectados en las parcelas previamente demarcadas en ambas áreas de estudio. Posteriormente para determinar si los datos obtenidos presentan homogeneidad de varianzas y normalidad, se realizarán las pruebas de Shapiro-Wilks para determinar la normalidad y de Levene para la homogeneidad de varianzas de los datos, con el fin de determinar si se usan pruebas estadísticas paramétricas o no paramétricas.

Para evaluar la proporción de la varianza en cuanto a la densidad de la fauna y de las variables abióticas en cada uno de los sistemas (cultivo de café y bosque), se calcularán los coeficientes de varianza (CV), la varianza y se realizará una prueba F para determinar si existen diferencias entre las varianzas con un $\alpha = 0,5$.

En cuanto a la asociación espacial entre la abundancia y la profundidad, humedad de la capa de hojarasca y biomasa, se utilizará el programa de análisis de asociación rápida versión 1,52. En este programa se mide la similaridad de los modelos espaciales entre dos conjuntos de datos, esto basado en los valores obtenidos en los índices de agrupamiento en SADIE, estableciendo que hay asociaciones cuando hay coincidencia de parches o de claros en los datos de las variables que se analizan o, disociación cuando no concuerda la posición de los datos que hacen parte de una mancha o de un claro. Debido a que este programa evalúa sólo variables discretas o continuas previamente categorizadas, en el análisis de la información se transformarán los datos, en donde los valores decimales se llevarán a un valor entero mediante la aproximación. En los resultados dados en este programa se establecerán valores de significancia cuando los valores de los datos obtenidos presenten un $P < 0,05$ (Pearce & Zaluchi 2006; Perry 1998).

Con el fin de ver si existe correlación entre las características de la hojarasca (humedad y profundidad) y la fauna encontrada (como los grupos funcionales), se realizarán cálculos de coeficientes de correlación de Mantel con un $\alpha = 0,05$.

6.4.3 Análisis espacial

Para el análisis tanto para las variables abióticas (humedad, profundidad y Biomasa), como para la variable discreta, abundancia, se utilizará SADIE (Spatial Analysis by Distance Indices) mediante el Software SADIEshell (versión 1.22, Kevin F. Conrad, 2001). Posteriormente se calcularán los índices de agrupación (I_a) y (V_i y V_j) con los que se realizarán los mapas de distribución de la variable mediante el software Surfer (8.05, Golden Software, Inc., Golden, USA). Para establecer el tamaño de los parches o claros, cada punto de intersección de la cuadrícula donde se recolectaron las muestras de hojarasca de 25x25 cm (variable de respuesta) se tomarán como puntos del área que conforman un claro. En cada parche se contará el número de puntos que lo conforman y se realizará un promedio para cada uno de los taxones más abundantes en cada uso de suelo.

7. RESULTADOS

Se encontró un total de 6866 individuos distribuidos en 5 clases, 21 órdenes y 52 familias (Tabla 1). La mayor abundancia se encontró en el cultivo con 3625 individuos (52,80%) con un promedio de 14.7 ± 56.5 y para el bosque con 3241 individuos (47,20%) con un promedio de 8.78 ± 30.44 , según estos datos se puede determinar que existe una gran variación entre las muestras debido al gran tamaño de la desviación estándar. Las pruebas muestran que la diferencia en cuanto a los órdenes entre el cultivo y el bosque no fue significativa ($U= 3013$ y $P=0,6$).

Por lo anterior se realizaron también pruebas a nivel de familias con lo que se encontró que tampoco existen diferencias significativas en la abundancia de estas en las 2 coberturas ($U=1280$. $P=0.16$)

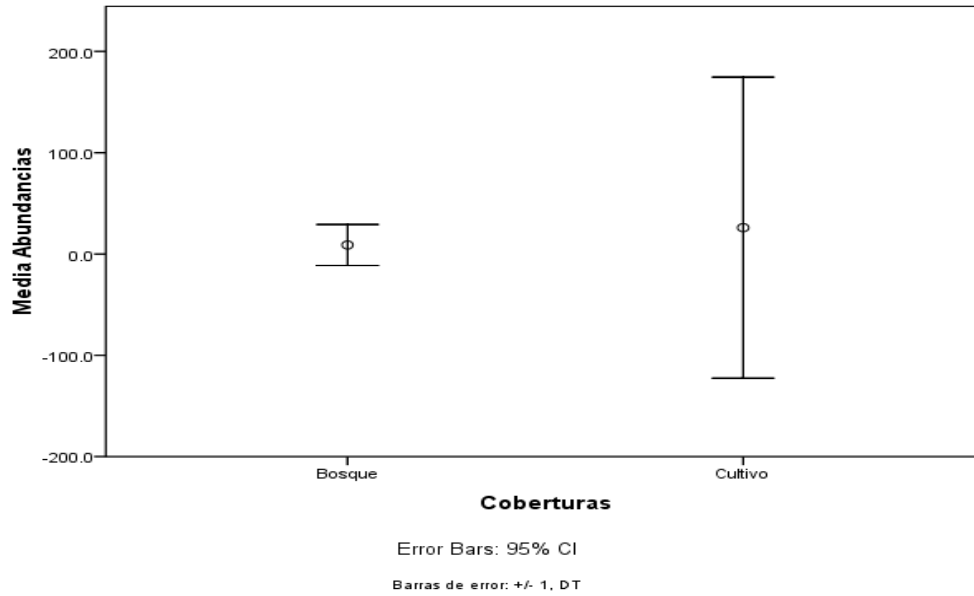


Figura 1. Numero individuos por familia por muestra y su error estándar en el cultivo y el bosque.

En cuanto a los grupos taxonómicos separados por sitio de muestreo, se encontraron un total de 21 grupos para cultivo y 19 grupos para bosque. Para ambas coberturas, los ácaros (Acariformes) presentaron la mayor abundancia con un 77.2 % en bosque y 67.6 % para el cultivo.

Tabla 1. Grupos taxonómicos encontrados en las 2 coberturas evaluadas (Cultivo de café y Bosque). X: Grupo encontrado en ambas coberturas. o: Grupo encontrado sólo en el cultivo de café. *: Grupo encontrado sólo en el Bosque.

<i>Grupo Taxonómico</i>	<i>Encontrados en</i>
<i>clase Arachnida</i>	X
orden Pseudoescorpionida	X
familia Cheliferidae	X
familia Chernetidae	*
orden Araneae	X
familia Theriidae	X
familia Tetragnathidae	o
familia Salticidae	o
familia Araneidae	*
familia Oonopidae	*
orden Opilionida	*
familia Stygnommatidae	*
orden Acariformes	x
<i>clase Diplopoda</i>	X
orden Spirobolida	X
familia Spirobolidae	X
orden Polydesmida	X
familia Haplodesmidae	X
<i>clase Elliplura</i>	X
orden Collembola	X
familia Isotomidae	X
familia Entomobrydae	x
familia Sminthuridae	X
familia Onychiuridae	o

<u>clase Chilopoda</u>	X
orden Scolopendromorpha	X
familia Scolopocryptopidae	x
<u>clase Diplura</u>	X
orden Diplura	X
familia Japýgidae	X
familia Anajapýgidae	X
<u>clase Insecta</u>	X
orden Blattidea	o
familia Blattidae	o
familia Blattellidae	o
orden Thysanoptera	*
familia Thripidae	*
orden Orthoptera (ninfas)	X
orden Hemiptera	X
familia Nabidae	o
familia Miridae	*
orden Diptera	X
familia Chameamiidae	*
familia Drosophiloidea	X
familia Phoridae	X
familia Cecidomyiidae	*
familia Chironomidae	*
familia Psychodidae	*
familia Scatopsidae	*
familia Sciaridae	X
familia Simuliidae	*
familia Tipuloidea	*
orden lepidoptera	X
familia Saturniidae	X

orden Psocoptera	X
familia Trogidae	X
orden Coleoptera	X
familia Corylophidae	X
familia Curculionidae	*
familia Leiodidae	X
familia Lyctidae	X
familia Ostomidae	*
familia Scolytidae	X
familia Sphaeriidae	*
familia Spharoceridae	*
familia Spheritidae	*
familia Staphylinidae	X
familia Chysomelidae	o
familia Cleridae	o
orden Hymenoptera	X
familia Formicidae	X
familia Agaonidae	*
familia Ceraphronidae	X
familia Chrysidae	*
orden Siphonaptera	o
familia Vermipsyllidae	o
clase Symphyla	X
familia Scolopredrellidae	X

Los grupos más abundantes en el cultivo fueron los Acariformes con 67,6%, Collembola con 32,3%, Diptera con 5,5% e Hymenoptera con 2,06% (figura 1a); Mientras que para el caso del bosque fueron Acariformes con 72,2%, Collembola con 4,5%, Coleoptera con 4,1%, Pseudoescorpionida con 3,9%, Diptera con 3,7% e Hymenoptera con 1,5% (Figura 1b). Tanto los Dipteros como los Coleopteros incluyen los estados larvarios, en cuanto a los Dipteros corresponden un 92,5% y 52,9% del total de Diptera, y para Coleoptera es 43,4% y 48,8% del total de Coleoptera, en el cultivo y el bosque respectivamente

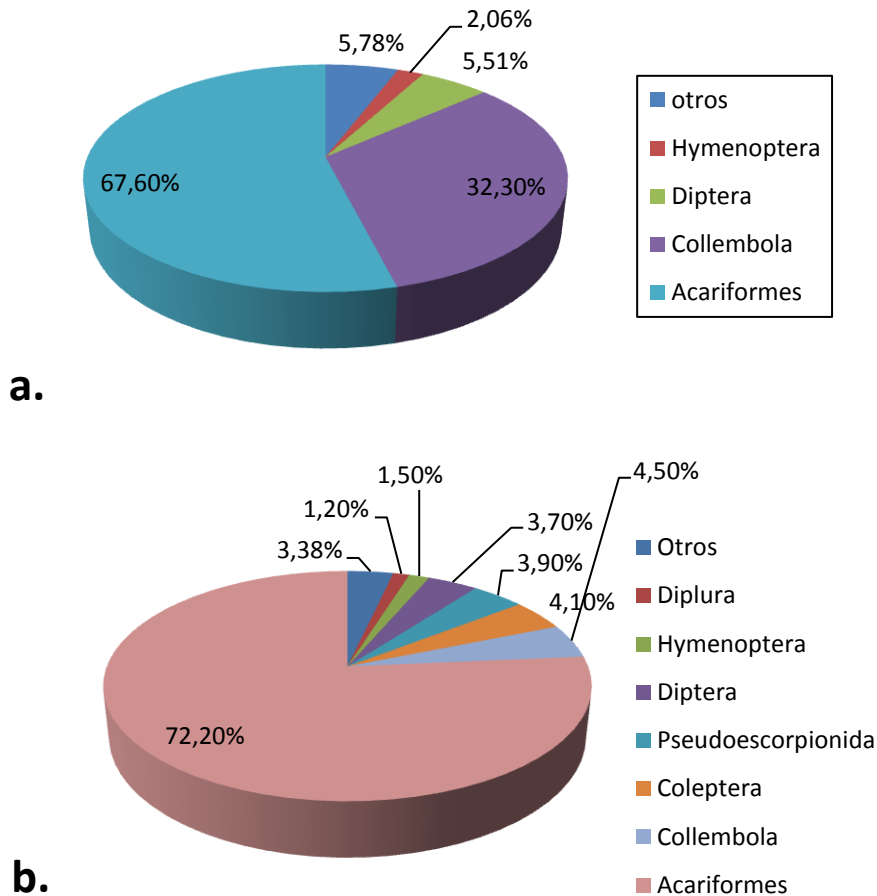


Figura 2. Porcentaje encontrado por grupo en las coberturas estudiadas: **a.** Cultivo y **b.** Bosque

Por otro lado, los grupos menos abundantes y que se muestran como “otros” (Figura 1a) fueron para el bosque Anelida, Orthoptera, Thysanoptera, Lepidoptera, Symphila, Opiliona, Polydesmida, Psocoptera, Araneae, Scolopendromorpha, Hemiptera Y Spirobolida; y para el cultivo fueron Orthoptera, Homoptera, Malacostraca, Lepidóptera, Polydemida, Psocóptera, Chilopoda, Spirobolida, Araneae, Hemiptera, Anélida, Diplura, Blattaria, Pseudoescorpionida, Symphila y Coleoptera, todos estos con un porcentaje de presencia menor a 1.0%

No todos los grupos taxonómicos fueron encontrados en ambas coberturas (Tabla 1), siendo así los ordenes Thysanoptera y Opiliona con las familias Thripidae y Stygnommatidae respectivamente fueron observadas sólo para el bosque, en cuanto los Órdenes que sólo se

encontraron en cultivo fueron Homoptera (Ninfas), Malacostraca (familia Isópoda) y Blattaria (con las familias Blattellidae y Blattidae).

En Arachnida, del orden Aranae se observó que sólo las familias Salticidae y Tetragnathidae fueron encontradas en el cultivo, mientras que para el bosque fueron exclusivas 3 familias, estas son Araneidae, Oonopidae y Teraphocidae. Para el orden Pseudoescorpionida la familia Chernetidae

Para la clase Insecta se encontraron varias diferencias, en cuanto a las familias del orden Coleoptera, pertenecientes al suborden Polyphaga, se observó que Curculionidae, Ostomidae, Sphaeriidae, Sphaeroceridae y Spharitidae fueron identificadas sólo para el bosque y para el cultivo sólo fueron encontradas Chrysomelidae y Cleridae.

En Diptera 6 familias se encontraron sólo para el bosque, estas son, del género Nematocera, superfamilia Mycetophiloidea, las familias Cecidomyiidae y Scatopsidae. De la superfamilia Culicoidea, las familias Chironomidae y Simuliidae y De la superfamilia Tipuloidea, la familia Tipulidae. Para el género Cyclorhapha se encontró únicamente la familia Chamaemyiidae.

Para el caso de Collembola sólo se encontró una diferencia en cuanto a la presencia de la familia Onychiuridae, que fue observada sólo en el cultivo. En Hemiptera las diferencias son que Nabidae y Miridae fueron encontradas sólo en el cultivo y el bosque respectivamente.

Respecto a Hymenoptera, las diferencias encontradas corresponden al suborden Apocrita, superfamilia Chalcidoidea con la familia Agaonidae y la superfamilia Chrysidoidea con la familia Chrysididae, estas encontradas sólo en el bosque. Dentro de este mismo orden, para la familia Formicidae, la subfamilia Formicidae se encontró también sólo en el bosque.

7.1. Descripción estadística de los taxones más abundantes y las variables abióticas.

Los taxones más abundantes que fueron tomados para la comparación entre las 2 coberturas son los Acariformes, Collembola, Diptera, Hymenoptera y larvas del orden Diptera. Aun así ordenes como Pseudoescorpionida y Coleoptera se incluyeron dentro del análisis debido a su alta presencia en el bosque.

La máxima abundancia local se observó en el grupo Acariformes con 298 individuos en el punto 5,3 en el boque y 756 individuos en el punto del cultivo. En cuanto al promedio, este mismo grupo fue el que presentó el mayor, tanto en el bosque como en el cultivo, pues fue $67,62 \pm 74,68$ y $47,32 \pm 49,91$ respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las variables bióticas y abióticas. **S**: desviación estándar, **S²**: varianza, **CV**: coeficiente de variación.

	Variable	Media	S	S²	CV
<u>Bosque</u>	Acariformes	67,62	74,68	5576,41	110,43
	Collembola	4,56	4,38	19,16	95,93
	Hymenoptera	3,92	5,01	25,08	127,65
	Larvas Díptera	5,25	4,83	23,30	91,93
	% Humedad	68,44	16,13	260,17	23,57
	Biomasa	23,52	9,09	82,55	38,64
	Profundidad	4,15	1,24	1,54	29,92
<u>Cultivo</u>	Acariformes	47,32	49,91	2490,82	105,48
	Collembola	53,58	192,91	37212,89	360,06
	Hymenoptera	10,71	17,47	305,24	163,06
	Larvas Díptera	18,50	49,75	2474,94	268,91
	% Humedad	5,43	4,13	17,03	75,97
	Biomasa	45,84	40,73	1659,11	88,86
	Profundidad	2,09	1,18	1,39	56,30

Los coeficientes de variación (CV) fueron mayores en el cultivo y la mayoría de los casos fueron superiores al 100% en ambas coberturas, excepto para Collembola y larvas de Dípteras en el bosque y para los factores abióticos evaluados en ambos sitios de muestreo. El grupo con el mayor coeficiente de variación fue para el bosque Hymenoptera y para el cultivo fue Collembola, mientras los que presentaron el menor coeficiente fueron las larvas Díptera y Acariformes para el bosque y el cultivo respectivamente (Tabla 2).

Los factores abióticos (humedad, biomasa y profundidad de la hojarasca) presentaron comportamientos variables entre las coberturas. El porcentaje de humedad fue en promedio

mucho mayor en el bosque al igual que el coeficiente de variación (CV), la profundidad de la hojarasca presentó un comportamiento similar, ya que su promedio fue mayor en el bosque, con la excepción de que el CV fue menor acá. En cuanto a la biomasa, fue mayor el promedio en el cultivo al igual que su coeficiente de variación ($P= 0.047$) (Tabla 2)

7.2. Estructura espacial de la artropofauna edáfica.

Estadísticamente los taxones escogidos para realizar el análisis espacial, con base en su abundancia, no presentaron una distribución espacial detectable, ya que en todos los casos $P > 0,05$ (Tabla 3). El único grupo con un valor de significancia aproximado a 0,05 fue el caso de Collembola en el cultivo. Aun así se realizaron análisis y mapas de los otros grupos con el fin de detectar posibles parches o claros.

Los organismos pertenecientes al grupo de Acariformes presentaron tanto parches como claros tanto en el bosque (Figura 2a) como en el cultivo (Figura 3a), las diferencias observadas consisten en el número y tamaño de estas variables, pues aunque sólo se presenta un parche en ambas coberturas, el tamaño de este es mayor en el cultivo ya que está compuesto aproximadamente por 6 puntos, mientras que el del bosque se compone por 3 puntos en promedio. En cuanto a los claros observados, el cultivo, aunque presenta un menor número de estos, el tamaño de los puntos que los componen es mayor, pues uno de ellos presenta en promedio 13 puntos (Figura 3a).

Para el caso de Collembola, único grupo con un P aproximado al valor mínimo de significancia ($P= 0.05$) presenta un parche (Tabla 3) en el cultivo, aunque debido a su ubicación (punto 8-1) no se observa en el mapa (Figura 3b), aunque el bosque también muestra parches (Figura 2c), 2 en total, estos no son estadísticamente significativos ($P= 0.66.$) aun así se muestra para ambas coberturas la presencia de claros, en donde el presente en el cultivo tiene un mayor tamaño, con un promedio de 49 puntos.

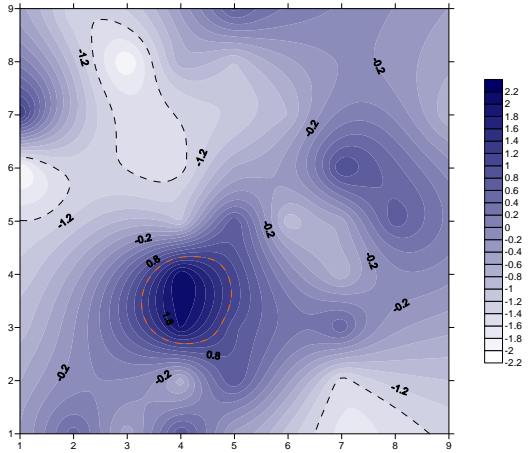
Hymenoptera, otro grupo que gracias a su abundancia permitió un análisis, no tuvo presencia de parches, aunque sus claros no son significativos, se observó un mayor número de estos en el bosque, aunque el de mayor tamaño se encontró en el cultivo (Figura 3c). Coleoptera es otro de los grupos cuya distribución se muestra cerca a completamente al azar ($Ia = 1$) (Tabla 3), la figura 2b mostro dos pequeños claros y un parche ambas compuestas de 1 punto. Finalmente

se muestran los organismos pertenecientes a Pseudoescorpionida, aunque su índice (Ia) muestro una distribución perteneciente a claro (Tabla 3), en la Figura 2e se observaron 2 parches y una sola agrupación perteneciente a claro.

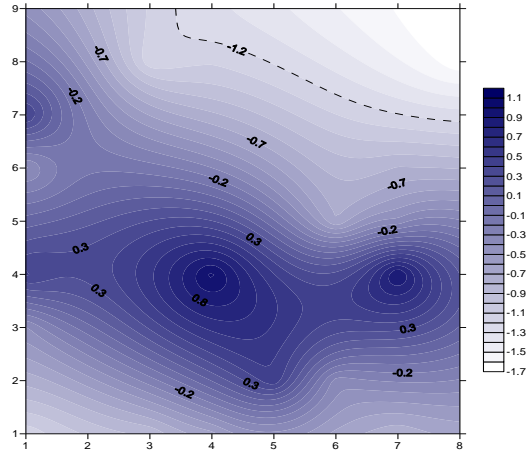
Tabla 3. Estadísticos de SADIE (Spatial Análisis for Distance Indices). **Pa:** significancia del índice de distancia, **Vj (media):** media de los puntos con valores que aportan a claros, **P (Vj media):** significancia de la media Vj, **Vi (media):** media de los puntos con valores que aportan a parches, **P (Vi media):** significancia de la media de Vi, $\alpha=0.05$

	Grupo	Pa	Ia	vj (media)	Vi (media)	P (vj media)	P (vi media)
BOSQUE	Coleoptera	0.6154	0.910	-0.811	0.657	0.8462	10.000
	Acari	0.7179	0.925	-1.022	1.024	0.4103	0.4872
	Collembola	0.6667	0.921	-0.942	1.118	0.7436	0.3590
	Pseudoescorpionida	0.7949	0.842	-0.799	1.038	0.8718	0.4872
	Diptera	0.9487	0.726	-0.755	0.773	0.9744	0.9231
	Hymenoptera	0.3333	1.053	-1.040	1.214	0.1795	0.1795
	CULTIVO	Acari	0.2308	1.098	-1.093	1.272	0.4103
	Collembola	0.0513	a	-1.563	1.090	0.0000	0.2564
	Hymenoptera	0.3846	1.017	-1.067	0.949	0.2051	0.8205

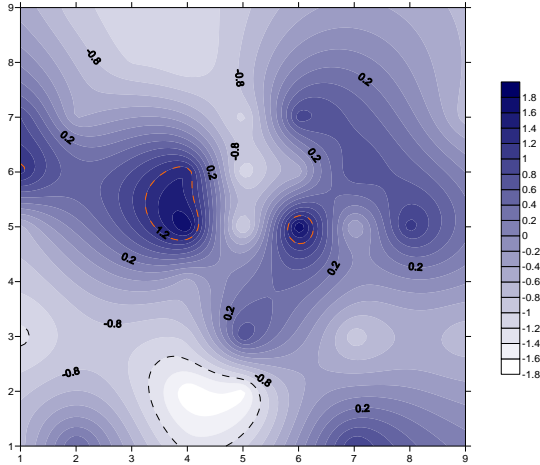
a.



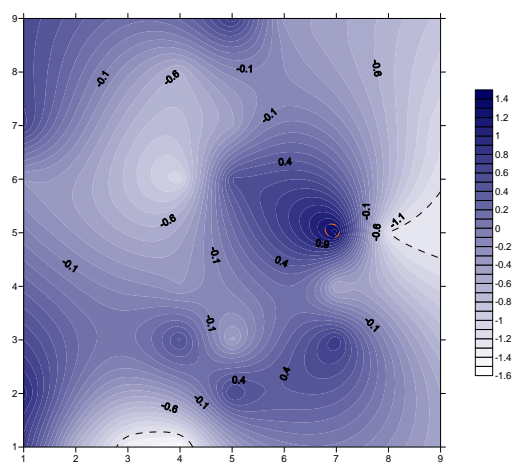
b.



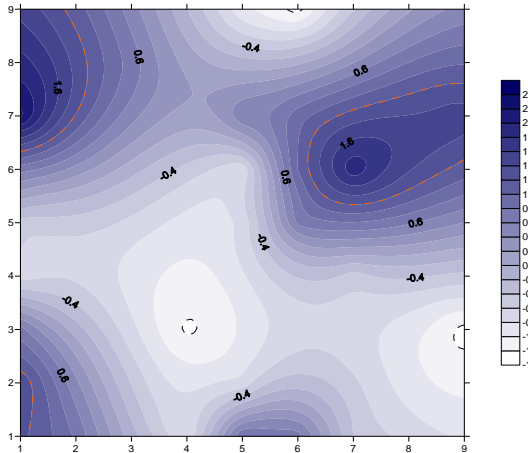
c.



d.



e.



f.

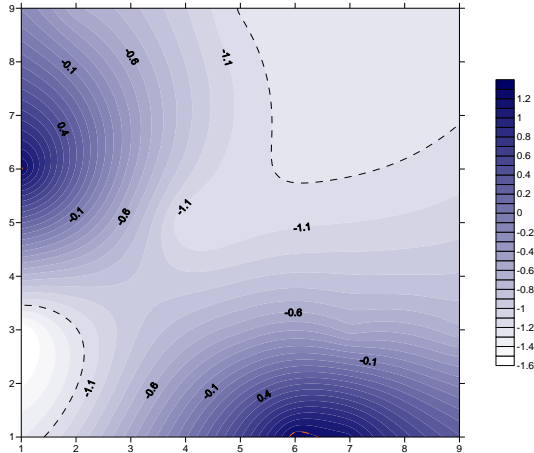


Figura 3. Mapas de distribución de los taxones más abundantes en el bosque. **a.** Acariformes, **b.** Coleoptera, **c.** Collembola, **d.** Diptera, **e.** Pseudoscorpionida **f.** Hymenoptera.

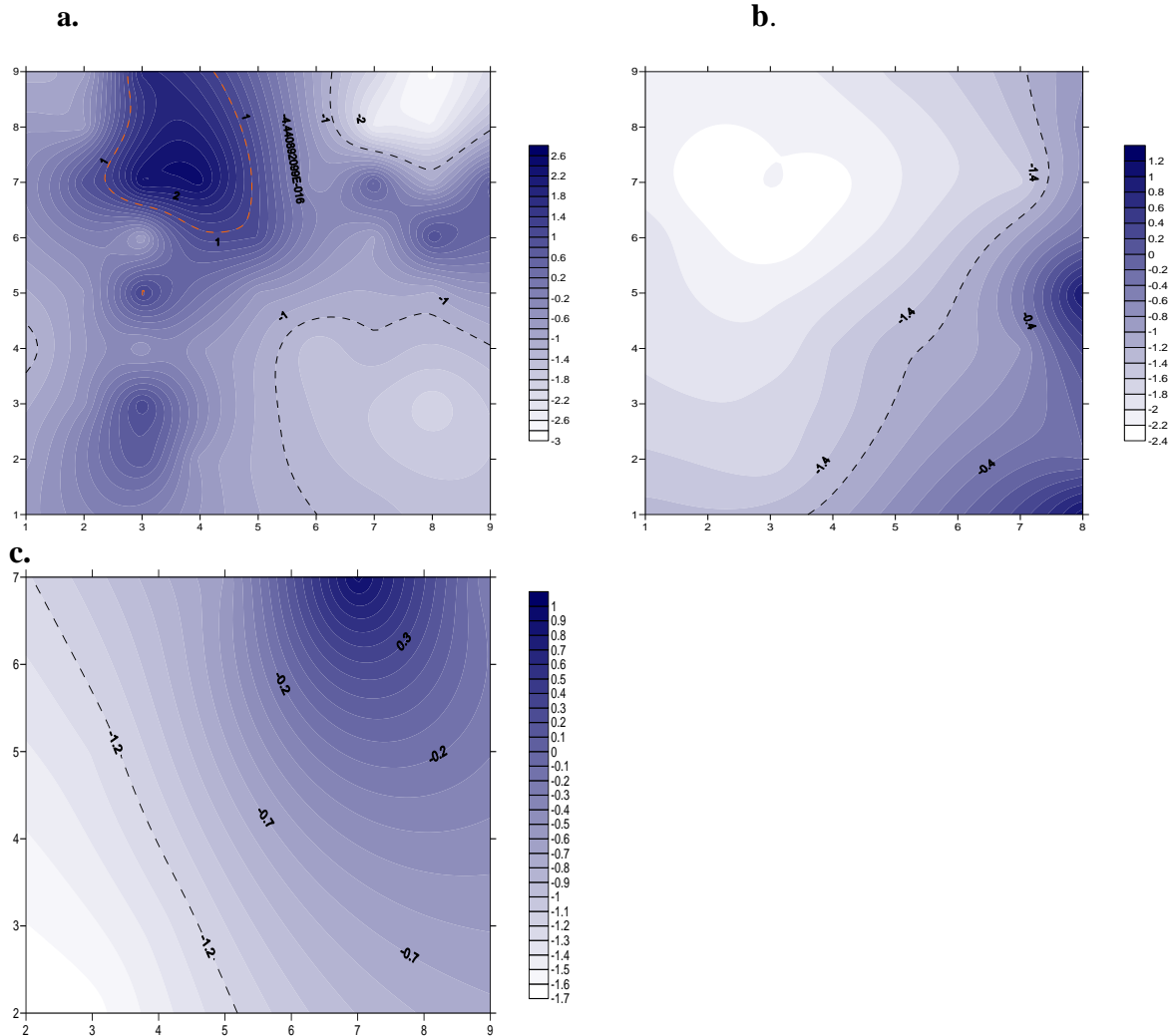


Figura 4. Mapas de distribución de los taxones más abundantes en el cultivo. **a.** Acariformes, **b.** Collembola **c.** Hymenoptera (Formicidae).

7.3. Estructura espacial y relación del porcentaje de humedad, la biomasa y la profundidad de hojarasca con la artropofauna edáfica.

Al calcular los índices de correlación de Mantel contra cada uno de los órdenes representativos, no se obtuvieron diferencias significativas ($P > 0,05$) en relación a estos y el porcentaje de humedad y la profundidad de la hojarasca, sin embargo para el caso de la biomasa se mostró una relación entre esta y el orden Coleoptera y las larvas de Diptera para el bosque. (Tabla 4), al igual que la distribución espacial de esta variable presento un índice de agregación significativo ($P = 0,02$) (Tabla 5).

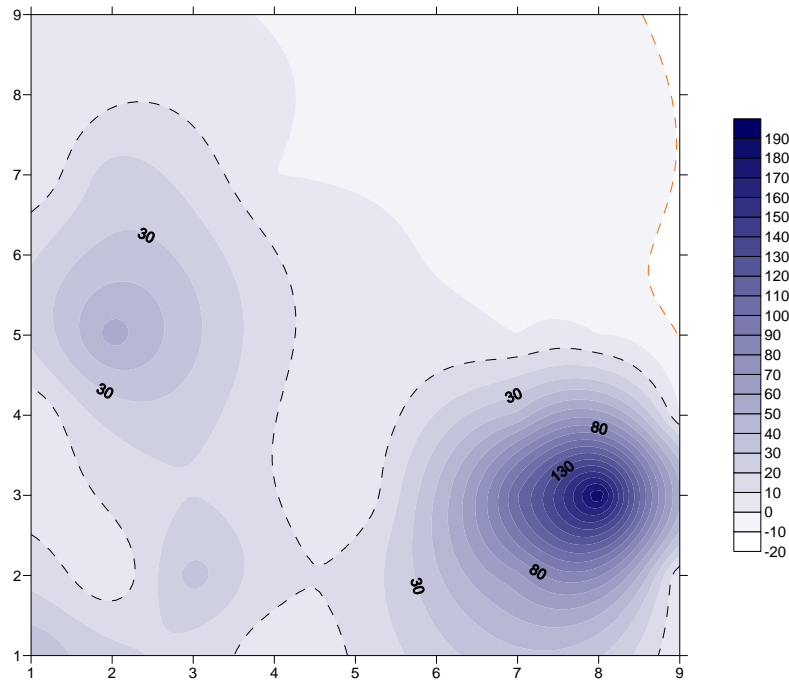


Figura 5. Mapa de distribución de la biomasa en el cultivo.

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Mantel entre los grupos más abundantes y, el porcentaje de humedad, la biomasa de la hojarasca y la profundidad de esta. *Correlación significativa ($P < 0,05$)

		Biomasa	% Humedad	Profundidad
Bosque	Acariformes	0.54*	-0.06	-0.21
	Coleoptera	-0.07	0.12	-0.08
	Collembola	0.20	-0,05	-0.20
	Diptera	0.13	0.06	- 0.02
	Diptera larva	0.75*	-0.004	-0.14
	Hymenoptera	0.04	-0.08	- 0.30
	Pseudoescorpionida	0.37	-0.07	- 0.12
Cultivo	Acariformes	-0.08	-0.01	0.007
	Collembola	-0.03	0.03	-0.12
	Diptera	-0.03	0.15	0.04
	Hymenoptera	-0.04	-0.16	-0.18

Tabla 5. Estadísticos SADIE para la distribución de la biomasa en el cultivo.

Pa	la	vj (media)	vi (media)	P(vj media)	P(vi meida)
0.0256	1.495	-1.499	1.546	0.0000	0.0256

7.4. Grupos funcionales.

Para agrupar los taxones en diferentes grupos funcionales, se tuvo las características de su hábitat y las características generales, en cuanto a la alimentación, reportadas en la literatura de los taxones.

El grupo funcional más abundante tanto para el bosque como para el cultivo fueron los micropredadores con un total de 2852 y 3210 individuos respectivamente. Este resultado se debe principalmente a que dentro de este grupo se encuentra Acari, grupo en el cual se encontró la mayor cantidad de individuos en ambas coberturas. El siguiente grupo con mayor abundancia fue los transformadores de hojarasca, ya que en el cultivo se encontraron 93 individuos en el bosque y 224 en el cultivo, finalmente los ingenieros del ecosistema, fueron el grupo menos abundante ya que tan sólo en el bosque y en el cultivo se encontraron 37 y 73 individuos respectivamente.

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Mantel entre los grupos funcionales y los factores abióticos del ecosistema. *p< 0,05.

	Grupo Funcional	%		
		Humedad	Biomasa	Profundidad
Bosque	Ingenieros del ecosistema	0.09	0.04	0.06
	Transformadores de hojarasca	0.01	0.21	0.27*
	Micropredadores	0.05	0.52*	0.20
Cultivo	Ingenieros del ecosistema	0.18	0.04	0.12
	Transformadores de hojarasca	0.16	0.06	0.07
	Micropredadores	0.04	0.05	0.14

Al calcular los coeficientes de correlación de Mantel, se puede observar que sólo se encontró correlación entre los micropredadores y la biomasa; los transformadores de hojarasca y la profundidad de esta (Tabla 5). Aun así, los valores de correlación son de valor bajo, lo que sugiere una relación no muy fuerte.

El grupo de los transformadores de hojarasca incluyen a los taxones que comúnmente consumen materia orgánica y que al defecar crean un ambiente apto para los microorganismos (Lavelle 1996). Este grupo de vio representado por las larvas de Diptera, Psocoptera, Coleoptera (Leiodidae) y Diplopodos (pertenecientes al orden Polydemia). En el bosque se encontró un total de 93 individuos y 224 para el cultivo, lo que evidencio una diferencia en su abundancia, a pesar de no ser significativa ($P=0,18$).

Los micropredadores, grupo que según Lavelle (1996) son organismos que se alimentan de otros invertebrados y microorganismos (Lavelle 1996). Dentro de este grupo se encontraron 2852 individuos en el bosque y 3210 individuos en el cultivo. Esta gran abundancia se debe a que taxones como los Acariformes y Collembola se encuentran dentro de este grupo, también se clasifican como micropredadores organismos encontrados como lo son los pertenecientes a Aranea, Coleoptera (Staphylinidae y Corylophidae) Diplura (Japigidae), Pseudoescorpionida, Blattodea y Opiliones, estos dos últimos fueron encontrados solamente en cultivo y bosque, respectivamente.

Finalmente, los ingenieros del ecosistema estuvieron conformados únicamente por Hymenoptera (Formicidae), esto basándose en la agrupación realizada por Jones *et al.* (1994). la mayor abundancia dentro de este grupo se dio en el cultivo con 73 individuos, mientras que para el bosque sólo se encontró un total de 37 organismos pertenecientes a la subfamilia Formicidae.

8. DISCUSIÓN

8.1 Abundancia de la fauna edáfica

Aunque se encontró un gran número de organismos (6866 individuos), al ser comparado con otros estudios, se puede decir que esta abundancia es relativamente baja, pues en diferentes

estudios se han reportado hasta 4299 individuos/m² en selva de galería (Decaêns *et al.* 2003), y un promedio de 4744 individuos/m² en bosques mayores de 20 años en la zona cafetera de Colombia (Feijoo *et al.* 2005), mientras que para el presente estudio se obtuvo un promedio de 398 individuos/m².

Los organismos pertenecientes a los ordenes Acari, Collembola, Diptera, Coleoptera, Hymenoptera y Pseudoescorpionida fueron los más representativos en este estudio, y coincide con resultados encontrados por Adis (1998) y Pfeiffer (1996) que sugieren que estos organismos componen del 75 al 90% de la diversidad de artrópodos encontrados en la hojarasca. Para este caso los 2 ordenes con mayor abundancia fueron Acari y Collembola con un 69% y 22% respectivamente, este resultado puede deberse a la alta diversidad taxonómica de estos grupos (Lussenhop 1992) o a la heterogeneidad de recursos que brinda la variedad de especies vegetales que se pueden encontrar en cultivos asociados. Esto puede explicarse debido a que estos son grupos principalmente fungívoros y detritívoros y su actividad está relacionada principalmente con la composición química de la hojarasca, lo cual también ha sido mencionado por Anderson (1973), Boerner & Katheleen (1990), Tian *et al.* (1997) y McIntyre *et al.* (2001) quienes reportan una fuerte relación entre la densidad poblacional de grupos detritívoros con el contenido de materia orgánica del suelo. Por otro lado, en un estudio realizado en México, el orden de presencia de los taxones más abundantes difiere al encontrado en el presente estudio, pues Ibarra & Núñez (1990) encontraron que los ordenes más representativos en los cafetales bajo sombra corresponden a Diptera, Hymenoptera y finalmente Coleoptera.

Las diferencias encontradas en cuanto la abundancia de artrópodos, al ser comparada con otros estudios puede deberse que, aunque existen protocolos para la extracción de la fauna del suelo, aun no existe un consenso en la metodología utilizada para taxones particulares y aun menos para la fauna edáfica en general (André *et al.* 2002, Coleman & Whitman 2005). Para este caso en particular se utilizó el método de extracción manual y mediante embudos Barlese, este último método es recomendado para la extracción de diversos grupos de artrópodos tales Acari (Krantz 1978) y Collembola (Vargas & Palacios-Vargas 2004), mientras que la extracción manual comúnmente se utiliza para la fauna de mayor tamaño (Oligocheta, Diplopoda...etc.) (Swift & Bignell 2001). Aunque existe otros métodos para la extracción de la micro y mesofauna edáfica como la flotación por diferencias de densidad o la afinidad química (André *et al.* 2002), en definitiva el método que parece ser el más generalista es la utilización del embudo Barlese,

aunque para una verdadera representatividad de toda la fauna edáfica presente en el suelo debería aplicarse los diferentes tipos de métodos selectivos, lo que resultaría en un trabajo complicado y dispendioso.

La falta de presencia y poca abundancia de algunos grupos taxonómicos que comúnmente se encuentran en estos ecosistemas, puede ser consecuencia de la realización de un muestreo sin repeticiones y la colecta sólo durante el día, pues artrópodos nocturnos pueden verse sesgados en este muestreo. Para la realización de inventarios de diversidad Villareal *et al.* (2006) recomiendan la realización de muestreos nocturnos y repeticiones, aunque la meta de este trabajo era analizar la distribución espacial más no la diversidad de la artropofauna. Estudios de este mismo tipo no muestran repeticiones (Robertson & Freckman 1995, Görres *et al.* 1998, Jiménez *et al.* 2001, Negrete & Yankelevich 1995, Jiménez & Rossi 2006, Rossi *et al.* 2006).

El tipo de bosque puede ser otro factor limitante en cuanto a la abundancia, pues existen estudios en donde la contribución de la artropofauna edáfica al total de la biomasa del suelo, tiene un patrón de variación latitudinal (Swift *et al.* 1979). El bosque donde se llevo el presente estudio, corresponde a un remanente de más de 50 años y al compararlos con bosques con estado sucesional similar, son evidentes las diferencias de abundancia, aunque en estos estudios se enfocaron en la Macrofauna (Feijoo & Knapp 1998, Negrete Yankelevich 2004), grupo poco representado los resultados de este trabajo.

La diferencia de la abundancia encontrada entre las coberturas, aunque no fue significativa, en donde fue mayor para el cultivo, se contradice con estudios realizados por Coleman & Crossley (1996) donde en un bosque templado la densidad de Oribatida puede ser hasta 10 veces mayor que en los cultivos.

En contra con los resultados de este estudio, en donde la abundancia parece no verse afectada por la intervención antropica de los suelos (cultivos), en Colombia se ha demostrado que la biomasa y la abundancia de la macrofauna edáfica disminuye como consecuencia a las practicas agroindustriales en suelos del Valle del Cauca (Marín *et al.* 2002) y en Caquetá (Quijano *et al.* 2000). Esta abundancia de algunos grupos encontrados en el cultivo de café puede ser efecto de la aplicación de insecticidas y/o fertilizantes. Fountain *et al.* (2007) encontraron que algunos insecticidas sólo tienen eficacia sobre algunos invertebrados del

suelo, lo que puede ocasionar que primero se vean afectados los algunos micropredadores, dejando el espacio libre a otros grupos (Coleman & Whitman 2005, Lavelle *et al.* 2006)

8.2 Composición de la artropofauna edáfica

Vale la pena primero aclarar que las observaciones dadas en este estudio, pueden ser sólo consecuentes a la época de estudio, a que sólo se realizó un muestreo, al sitio de estudio y finalmente a las condiciones climáticas y métodos de muestreo.

En general y gracias al nivel de identificación taxonómico que se logró alcanzar (familia y subfamilia en algunos casos), se pudo observar algunas diferencias en cuanto a la composición de la artropofauna en ambas coberturas estudiadas.

La alta abundancia relativa de los Collembola, es debido quizá a su gran adaptabilidad a áreas disturbadas, donde las actividades agrícolas generan modificaciones sobre la materia orgánica disponible (Pool *et al.* 2007). Según Winkler & Kampichler (2000) y Lindberg & Bengtsson (2005), las especies de la familia Isotomidae son altamente adaptables a suelos donde la cobertura de este es escasa, como es el caso del cafetal estudiado, donde se registraron bajos valores para el grosor de la capa de hojarasca (2,1 cm en promedio). Esto explicaría que todas las familias de este orden, menos Onychiuridae se encontraran en ambos sitios de muestreo. Este comportamiento coincide con estudios donde se indica que la razón Acari/Collembola es menor en sistemas perturbados (Rodríguez 1998).

En cuanto a la abundancia de las hormigas, la poca abundancia encontrada tanto en el bosque como en el cultivo contrasta con estudios como el realizado por Armbrecht *et al.* (2005), quienes encontraron una alta abundancia de hormigas asociadas a hojarasca en cafetales bajo sombra que estaba determinada por la complejidad estructural del cafetal más que por la presencia del hábitat circundante, como lo son los relictos de bosque naturales. También se hubiera esperado un mayor número de individuos de este grupo, ya que los hábitos generalistas de este grupo (Holec *et al.* 2006), junto con las condiciones presentes en el cultivo, el cual se distinguió por árboles de baja altura que permiten una mayor incidencia de la radiación solar, lo que en teoría podría haber permitido un mayor número de eventos reproductivos y por lo tanto crecimiento poblacional (Holec *et al.* 2006, Woodell & King 1991).

Acari, el grupo más abundante, se ve favorecido en los ambientes húmedos y ricos en materia orgánica, estas condiciones pueden explicar su mayor abundancia en el bosque, ya que en este se presenta altos contenidos de materia orgánica así como presencia de microbiota, organismos de los cuales se pueden alimentar (Coleman y Crossley 1996).

La poca abundancia de Diplopoda puede deberse a las condiciones secas durante la época de muestreo, pues Bueno & Villegas (2003) reportan que la abundancia de Diplopoda aumenta en época de lluvias debido a que estos organismos migran desde los horizontes más profundos en donde se encuentran durante la época de sequía.

Por el lado de Coleoptera, en familias como Scolytidae se conocen especies que se alimentan de fluidos vegetales y hongos, y han sido encontradas tanto en ambientes intervenidos como naturales (Borror et al. 1989), caso que se muestra en el presente estudio. Una familia perteneciente a este grupo y que sólo fue encontrada en el bosque es Curculionidae, de la cual se conocen especies plaga como los son *Compus sp.* en plátano y café (Ocampo 2003). La presencia sólo en el bosque puede deberse a la cercanía de este con el cultivo, no obstante en necesaria una clasificación de menor nivel taxonómico para confirmar que los individuos encontrados sean especies consideradas como plagas.

Finalmente se puede decir que los grupos más abundantes en ambas coberturas fueron Acari y Collembola. Estos mismos resultados han sido mostrados en varios estudios (Coleman & Crossley 1996, Rodríguez 1998, Barajas-Guzmán & Álvarez - Sánchez 2003). Parte de esta abundancia puede deberse al método de extracción utilizado, ya que es ideal para organismos del tamaño de estos grupos.

8.5 Variación de la abundancia y de los factores abióticos.

Es de suponerse que el cultivo, al presentar una mayor homogeneidad en cuanto a su composición vegetal, presentará varianzas bajas en relación con los grupos taxonómicos evaluados, pero a diferencia de lo esperado, presento coeficientes de variación más altos y las varianzas más altas para estos grupos. Esta variación se hace evidente al haber encontrado valores de abundancia de diferentes rangos. La presencia de puntos con gran número de

individuos al lado de puntos sin individuos se puede deber a factores externos al medio como lo son fertilizantes o factores inherentes como el microclima (Holec *et al.* 2006).

Los coeficientes de variación para los grupos taxonómicos fueron mayores de 100% lo que podría explicar la poca estructura espacial detectada en la mayoría de los grupos, a excepción de Collembola en el bosque, se podría creer que esta poca detectabilidad se debe a la escala aplicada en los cuadrantes de estudio, pero se han detectado dependencias espaciales en escalas más pequeñas a la distancia mínima aplicada en este estudio (Klironomos *et al.* 1999, Rossi 2003, Ettema & Yates 2003).

La varianza para Acari fue casi el doble en el bosque que en el cultivo. En el bosque la materia orgánica no se vio de manera extendida como en el cultivo y ya que las condiciones más adecuadas sobre el suelo, para que este grupo se distribuya de manera más homogénea, pueden estar restringidas a espacios reducidos, por lo que su varianza fue más alta en el bosque, esto al ser Acari un grupo adaptado a ambientes ricos en materia orgánica y húmedos como los agroecosistemas (Coleman & Crossley 1996).

8.6 Distribución espacial

Los resultados obtenidos en SADIE no mostraron una distribución espacial significativa para los artrópodos en ninguno de los 2 sitios de estudio. Esto puede ser consecuencia de la escala espacial utilizada, en donde el tamaño de la cuadrícula pudo impedir la detección de un modelo significativo. Por tanto se sugiere evaluar al menos 2 tamaños de cuadrícula diferentes en el área de muestreo. Sin embargo se han encontrado patrones de distribución espacial en escalas más pequeñas en las utilizadas para este trabajo (Klironomos *et al.* *En cursiva* 1999, Negrete-Yankelevich 2004, Negrete-Yankelevich 2006).

Estudios demuestran que los muestreos realizados en cuadrículas de pequeña escala tienen menos probabilidad de detectar patrones de distribución, esto utilizando al menos 36 puntos de muestreo (Pearce & Zalucki 2006). Aunque el presente muestreo presenta 81 puntos de muestreo, el espaciamiento es mucho menor al recomendado.

No obstante de no ser significativos los índices, estos mostraron presencias de parches y claros para los grupos tomados para el análisis, particularmente el bosque obtuvo índices relacionados con claros y en el cultivo con parches, esto indica que la mayoría de los artrópodos tienen un patrón espacial de agregación revelando que los individuos rara vez se distribuyen al azar, quizá en respuesta a diferentes factores limitantes (humedad, temperatura, propiedades del suelo, entre otros), disturbios o recursos especie-específicos (Guisan & Zimmermann 2000, Hutson 2002.), esto en respuesta a la heterogeneidad del hábitat, donde se sugiere que esta variabilidad es reflejo de la complejidad estructural y funcional del sistema la cual favorece la diversidad de especies, promoviendo la disponibilidad de recursos y de microhabitats que influyen en la distribución (Hengeveld 1979, Duffield & Aebischer 1994, Thomas *et al.* 1998).

Acari, el grupo que a pesar de ser el más abundante, no presentó ningún patrón espacial significativo. Aun así en los mapas generados, se observó que presentan agrupamientos tanto en el cultivo como en el bosque, estos podrían estar determinados por la respuesta de este grupo frente a la variabilidad de recursos y factores abióticos (Hansen & Coleman 1998).

La aparente distribución agregada de Collembola en el cultivo podría deberse a que estos organismos presentan agregaciones periódicas durante el ciclo de muda. Ekschmitt *et al.* (1997) determinaron que el 40% de los individuos de una población están en algún momento en fase de pre-ecdisis o ecdisis, lo que ocasiona inactividad locomotora y estos periodos de muda comúnmente para alimentarse y aparearse.

Es importante comentar que en cada escala existen diferentes factores que influyen en la distribución espacial de los organismos, tales como disturbios humanos (Ettema & Wardle 2002, Rossi 2003).

8.7 Factores abióticos y fauna edáfica

Wallwork (1976) y Eisenbeis & Wichard (1987) muestran que muchas veces la distribución de la fauna edáfica está relacionada con la humedad, aunque en este estudio, este factor no tiene ninguna correlación significativa con los grupos evaluados.

En cuanto a la profundidad de hojarasca varios estudios reportan la importancia de la hojarasca, ya que esta garantiza la actividad, presencia y por lo tanto abundancia de la artropofauna, al igual que contribuye con la regulación de microclima y sirve de hábitats complejos (Kross & Schaefer 1998, Hooper *et al.* 2000).

En los resultados obtenidos no se muestra ninguna relación significativa entre la abundancia de artrópodos y el grosor de la capa de hojarasca, cabe anotar que se obtuvo un mayor promedio de esta en el bosque. Estos resultados son evidencia de la heterogeneidad espacial, donde se sugiere que esta falta de correlación no significa que no exista una relación, sino que posiblemente se deba a la escala utilizada (Pearze & Zalucky 2006). Pese a esta disociación entre la abundancia y el grosor de la capa de hojarasca, se cree importante evaluar si esta variables influencia el número de individuos, ya que es posible que características como la composición química o la diversidad de hojas, estén ejerciendo un impacto en el ciclaje de nutrientes entre otros factores, lo que consecuentemente podría determinar la actividad y diversidad y por lo tanto la abundancia de artrópodos del suelo (Tilman 1988).

Por el contrario, la biomasa si mostro una correlación significativa con la abundancia de los organismos pertenecientes a Acari y las larvas de Diptera, este segundo grupo es conocido por su consumo, fragmentación y transporte de material vegetal, por otro lado, Acari que es conocido como un grupo mayoritariamente micropredador, también tienes reportes de alimentarse de materia orgánica como la hojarasca (Coleman & Crossley 1996, Ruppert & Barnes 1996, Bueno-Villegas 2003).

Que no exista correlación entre la humedad y la biomasa, muestra claramente que la cantidad de hojarasca no se relaciona con la capacidad de retener una mayor cantidad de agua. Por otro lado se evidencio un patrón espacial significativo en la biomasa en el cultivo, pero ningún grupo de correlaciono con esta en este sito en especifico.

8.8 Grupos funcionales

Al comparar los grupos funcionales en el bosque y el cultivo, se encontró que la abundancia de los micropredadores es similar en ambas coberturas, siendo esta la más alta, ya que acá se encuentran Acari y Collembola; estos grupos son predadores y fungivoros y ocasionalmente

saprófagos (Coleman & Crossley), al calcular los índices de correlación de este grupo contra los factores abióticos, se observó una relación entre este y la biomasa, relación que puede ser sustentada debido a que una mayor cantidad de biomasa en el suelo podrá sostener mayor actividad microbiana y por lo tal mayor número de individuos presa de este grupo (Wardle 2002).

La única diferencia de este grupo se basa en que individuos pertenecientes a Blattodea fue encontrado sólo en cultivo y Opilionida en el bosque, cada uno representado por una sola familia y muy pocos organismos, es por esto que es difícil poder determinar si alguna de las 2 coberturas presenta una mayor variedad de este grupo funcional, es necesario además evaluar su relación con el recurso y realizar una determinación más detallada para identificar de mejor forma el nivel trófico de cada organismo.

Debido a la metodología utilizada, era de esperarse que el grupo menos representado, los ingenieros del ecosistema no fueran muy frecuentes, fuera de Formicidae esta metodología puede dejar otros varios grupos por fuera. (Swift & Bignell 2001).

Es difícil poder realizar una clasificación funcional de los taxones, sobre todo cuando el nivel de identificación no es muy específico. La clasificación funcional es basada en las hechas por Jones *et al.* (1994) y Lavelle (1996), clasificación muy general y se ve necesario realizar una clasificación mas específica de acuerdo a los niveles tróficos. En definitiva, al comparar la abundancia de los grupos funcionales no se encontraron diferencias significativas, posiblemente por la variación en los valores de abundancia presentados en el cultivo, que se deben a la escala en la que están relacionados los organismos, ya sea por distribución de recursos o por interacciones intraespecíficas.

9. CONCLUSIONES

- El cultivo no mostró tener un efecto sobre la abundancia relativa de la artropofauna edáfica.
- La escala utilizada no permitió observar una distribución espacial significativa en ninguno de los grupos; sin embargo, en el cultivo Collembola mostro un valor muy próximo a la significancia para el tipo agregado.
- La biomasa de la hojarasca es el único factor que se relacionó de forma positiva con algunos taxones, para este caso Acari y las larvas de Diptera en el bosque.

- Se encontró una correlación positiva entre los transformadores de hojarasca, los micropredadores con la profundidad y biomasa de la hojarasca respectivamente.
- El patrón de distribución espacial de los artrópodos de la hojarasca está influenciado por los atributos propios de cada hábitat y por factores bióticos y abióticos específicos para cada taxón.
- La alta abundancia (ordenes y familias) en los cafetales muestra la importancia de estos agroecosistemas para la conservación de especies.

10. RECOMENDACIONES

- Realizar una determinación taxonómica más detallada con el fin de establecer si existen otras diferencias en cuanto a la fauna edáfica y los grupos funcionales
- Utilizar dos tamaños de cuadrícula (pequeño – grande) para las unidades de respuesta de acuerdo con los taxones evaluados, y así poder identificar un mayor número de manchas o claros que contribuyan a reconocer los patrones de distribución espacial.
- Evaluar el patrón espacial de grupos indicadores o grupos funcionales para establecer las implicaciones ecológicas que tendría diferencias en la distribución de acuerdo al grado de perturbación.
- Incluir otro método de captura, como las trampas de caída o pitfall, con el fin de tener mayor representación de algunos grupos taxonómicos.

11. REFERENCIAS

- Adis, J. Amazonian Aracnida and Myriapoda. Identification keys to all classes, orders, families, some genera, and lists of known terrestrial species. Pensoft publishers. Sofia, Bulgaria. 590 p.
- Aerts, R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79: 439-449.
- Alessandria, E., Leguía, H., Pietrarelli, L., Zamar, J., Luque, S., Sánchez, J., Arbornó, M. & Rubin, D. 2002. Diversidad agrícola: incidencia de plagas en sistemas de producción extensivos en Córdoba, Argentina. *Biodiversidad* 32: 9-12.
- Alexander, M. 1981. Introducción a la microbiología del suelo. Editorial AGT. México D.F. 491 p.
- Alston, R. 1994. Statistical analysis of animal populations. Unpublished Ph.D. Thesis. University of Kent. Canterbury, England. 25 p.
- Alvarez-Sanchez, J & Harmon, M.E. 2003. Descomposición de hojarasca: hojas y madera (Pp. 108-122). En: Alvarez-Sanchez, J. & Naranjo-García, E. (eds.). *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Facultad de Ciencias. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México. 302 p.
- Arias, J., Suescun, J., Muñoz, R. 1992. El asocio papa * frijol arbustivo: influencia del genotipo del frijol con tres poblaciones en su productividad. *ICA- Colombia* 18 (Extraordinario) Pp. 411-418.
- Armebrecht, I. & Perfecto, I. 2003. Litter-twing dwelling ant species richness and predation potential within a forest fragment and neighboring coffee plantations of contrasting habitat quality in Mexico. *Agriculture ecosystems & Environment* 97: 107- 225.
- Arnett, R.H., Downie, N.M & Jacques, H.E. 1980. How to know the beetles. Second edition. WCB McGraw-Hill. New York, United States of America. 500 p.
- Bardgett, R.D. 2005. *The biology of soil: a community and ecosystem approach*. Oxford University Press. 253p
- Beare, M.H., Coleman, D.C., Crossley, D.A., Hendrix, P. & Odum, E.P 1995. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and soil* 170: 5-22.
- Berberena-Arias, M.F & Aide, T.M. 2003 Species diversity and trophic composition of litter insects during plant secondary succession. *Caribbean journal of Science* 39: 161- 169.
- Borror, D., Triplehorn, C.A. & Johnson, N.F. 1989. *An introduction to the study of insects*. Editorial Saunders College. San Diego, USA. 864 p.
- Campbell, J.B. 1996. *Introduction to remote sensing*. The Guilford Press. New York. USA. 655 p.
- Carrera, L. 1999. Diversidad de organismos, hojarasca y biomasa subterránea como indicadores de sostenibilidad en diferentes agroecosistemas. *Resumen 37 Cenicafé*. Bogotá, Colombia. 2-7p.

Castro, H.E. 1999. Degradación del suelo en zonas de agricultura comercial. En: Müller-säman, K.M. & Restrepo, J.M (eds.). Conservación de suelos y aguas en la zona andina. Memorias del taller internacional regional. Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 402p.

Cliff, A.D & Ord, J.K. 1981. Spatial processes. Models and applications. London, England. 56p.

Coleman, D.C., Crossley, J.R. & Hendrix, P.F. 2004. Fundamentals of soil ecology. Elsevier Academic Press. San Diego. USA. 386p.

Coral, D.M & Bonilla, C.R. 2002. Impacto de las prácticas agrícolas sobre la macrofauna del suelo en la cuenca alta del lago Guamués, Pasto, Colombia. Suelos ecuatoriales 32: 157-160.

Coûteaux, M., Bottner, P., & Berg, B. 1995. Litter decomposition, climate and litter quality. Trends in Ecology and Evolution 10 (2): 63-66.

Coyne, M. 1999. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 416 p.

Cressie, N.A.C. 1991. Statistics for spatial data. Wiley, new York. 137 p.

DaMatta, F. 2004. Ecophysiological constrains on the production of shaded and unshaded coffe: a review. Field Crops Research 86: 99-114.

Decaëns, T. & Rossi, J.P. 2001. Spatio temporal structure of earthworm community in a tropical pasture. Ecography 24: 671-682.

Duelli, P., Obrist, M.K & Schamatz, D.R. 1999. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: above-ground insects. Agriculture Ecosystems and environment 74: 33-64.

Dutilleul, P & Legendre, P. 1993. Spatial heterogeneity against heteroscedasticity: an ecological paradigm versus a statistical concept. Oikos 66: 152-171

Ettema, C.H. & Wardle, D.A. 2002. Spatial soil ecology. Trends in Ecology and Evolution 17 (4): 177-183.

Etter, A., MacAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S. & Possingham, H. 2006. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. Agriculture, Ecosystems and Environment 114: 369-386.

FEDECAFE. 1990. Manual del cafeto colombiano. Bogotá, Colombia. Pp.14-55.

FEDECAFE. 2006. Información de economía cafetera. Bogotá, Colombia.

Fragoso, C., Rojas, P., & Brwn, G. 1999. The role of soil macrofauna in the paradigm of tropical soil fertility: some research imperatives. En: Siqueira, J.O, Moreira, F.M., Lopes, A.S., Guilherme, L.R.G., Faquin, V., Furtini Eto, A.E. & Carvalho, J.G. (eds). Soil fertility, soil biology and plant nutrition interrelationship. Sociedade Brasileira de Ciência do sólo. Universidade de Ciência do sólo. Lavras, Brasil. Pp. 421- 427.

Fernández, F. & Sharkey, M. 2006. Introducción a los Hymenóptera de la región Neotropical. Sociedad colombiana de entomología y universidad nacional de Colombia, Bogotá D.C. pp. 984.

García, S., & Davis, J. 1985. Principios básicos de la asociación de cultivos. En: López, M., Fernández, F., Schoonhoven, A. 1985. Frijol: investigación y producción. CIAT. Pp. 363-380.

Gilinsky, E. 1984. The role of fish predation and spatial heterogeneity in determining benthic community structure. *Ecology* 65: 455-468.

Giraldo-Henao, R. 2002. Introducción a la geoestadística. Simposio de estadística. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. Colombia. 94p.

Grig-Smith, P. 1983. Quantitative plant ecology. University of California press. Berkeley. New York. USA. 63p.

Guhl, A. 2004. Café y cambio de paisaje en la zona cafetera colombiana, 1970-1997. *Cenicafe* 55 (1): 34-59.

Hart, R. 1975. A bean, corn and mandioc polyculture cropping system. The effect of interspecific competition on crop yield. *Turrialba* 25 (3): 294-301.

Hoffman, R.L., Golovatch, S.I., Adis, J., & de Morrais, J.W. 1996. Practical keys to the orders and families of millipedes of the Neotropical region (Myriapoda: Diplopoda). *Amazoniana* XIV (1/2): 1-35.

Ibáñez, J. 2006. Clasificación de horizontes orgánicos: Un universo invisible bajo nuestros pies. Madrid, España. 15 p.

IGAC. 2004. Línea de base de ordenamiento territorial en los distritos mineros. Manual de Acompañamiento. Bogotá. Colombia. 15 p.

Jiménez, J.J., Rossi, J.P & Lavelle, P. 2001. Spatial distribution of earthworms in acid-soil savannas of the Eastern plains of Colombia soil ecology 17(3): 267-278.

Jiménez, J.J., Decaëns, T., Thomas, R.J & Lavelle, P. 2003a. la macrofauna del suelo: un recurso natural aprovechable pero poco conocido. En: Jiménez, J.J., & Thomas, R.J. (eds.). El arado natural: La comunidad de macroinvertebrados del suelo en las sabanas Neotropicales de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia 389 p.

Jiménez, J.J & Rossi, J.P. 2006. Spatial dissociation between two endogenic earthworms in the Colombian "Llanos". *European Journal of Soil Biology* 42: S218-S224.

Joffre, R., Ágren, G.I., & Bossata, E. 2001. Organic matter quality in the ecological studies: theory meets experiment. *Oikos* 93: 451- 458.

Jones, C.G., Lawton, J.H. & Shachak, M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373- 386.

Kolasa, J. & Pickett, S.T. 1991. Ecological heterogeneity. Springer, New York. USA 95 p.

Krantz, G.W. 1978. A manual of acarology. Second edition. Oregon state University Book stores, inc. Corvallis, Oregon, USA. 508 p.

Kroos, S., & Schaefer, M. 1998. The effect of different farming systems on epigieic arthropods: a 5-year study in the rove beetle fauna (Coleoptera: Staphylinidae) of winter wheat. *Agricola Ecosystem environmental* 69: 121-133.

Lavelle, P. 1984. The soil system in the humid tropics. *Biology international* 9: 2-15

Lavelle, P., Spain, A., Toutain, F., Barois, I. & Schaefer, R. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystem: Application to soils of the humid tropics. *Biotropica* 25 (2): 130-150.

Lavelle, P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International* 33: 3-16.

Lavelle, P. 1997. Faunal activities an soil processes: Adaptative strategies that determine ecosystem function. *Advances in ecological research*. 27: 93-130.

Lavelle, P & Spain, A. 2001. Soil ecology. Kluwee academic publishers. Norwell, USA. 654p.

Lawrence, J.E. Hastings, A.M., Dallwitz, M.J., Paine, T.A. & Zuercher, E.J. 2000. Beetles of the world. Version 1.0 for Microsoft windows. CSIRO Entomology, Canberra, Australia.

Lawton, J.H., Bignell, D.E., Bloemer, G.F., Eggleton, P & Hodda, M.E. 1996. Carbon flux and diversity of nematodes and termites in Cameroon forest soils. *Biodiversity Conservation* 5: 261-273.

Lechowicz, M.J. & Bell, G. 1991. The ecology and genetics of fitness. Microspatial heterogeneity of the edaphic environment. *Journal Ecology* 79: 687-696.

Li, H. & Reynolds, J.F. 1995. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos* 73(2): 280-283.

Londoño, H. 1990. La multi-granja cacaotera, un buen modelo de cultivos múltiples asociados. *Agricultura de las Américas* 1 (177): 5-8.

Maestre, F.T. 2003. La restauración de la cubierta vegetal en zonas semiáridas en función del patrón espacial de factores bióticos y abióticos. Tesis doctoral, Universidad de alicante. Alicante. 36p.

Matheron, G. 1965. Les variables regionalisées et leur estimation. Masson, París. France 305p.

Montenegro, J. 2007. Geopolítica y medio ambiente. *Semana Geomatica (IGAC)*. Bogotá, Colombia. 27p.

Moorhead, D.L., Sinsabaugh R.L., Linkins A.E. & Reynolds, J.F. 1998. Decomposition processes: Modeling approaches and applications, *science of the total environment* 183 (1-2):137-149.

Nachman, G. 1981. A simulation model f spatial heterogeneity and non- random search in an insect host- parasitoid system. *Journal of animal Ecology* 50: 27-47

- Naeem, S., Thompson, L.J., Lawler, S.P., Lawton, J.H. & Wood, R.M. 1995. Empirical evidence that declining species diversity may alter the performance of terrestrial ecosystems. *Philosophical transactions society* 347:249-262.
- Nansen, C., Subramanyam, B. & Roesli, R. 2004. Characterizing spatial distribution of trap captures of beetles in retail pet stores using SADIE software. *Journal of Stored products Research* 40: 471-483.
- Naumann, I.D., Carne, P.B., Lawrence, J.F., nielsen, E.S., Spradbery, .P., Taylor, R.W., Whitten, M.J. & Littlejohn, M.J. (eds).1990. *The insects of Australia. Volume I-II.* Cornell University Press. Ithaca, New York, USA. 1075p.
- Ninasn, K. & Sathyapalan, J. 2005. The economics biodiversity conservation: a Study of a coffe Growing Region in the Western Ghats of India. *Ecological Economics* 55: 61-72.
- Negrete-Yankelevich, S. 2004. Integrating soil macroinvertevrate diversity, litter decomposition and secondary succession in a tropical montane cloud forest in Mexico. A thesis submitted in fulfillment of the requirements for a degree of Doctorate Philosophy to the University of Edinburg, Edinburg, Scotland. 245p.
- Negrete-Yankelevich, S., Fragoso, C., Newton, A.C., Russell, G. & Heal, O.W. 2006. Spatial patchiness of litter, nutrients and macroinvertebrates during secondary succession in a tropical montane cloud forest in Mexico. *Plant and Soil* 286: 123-139.
- Pardo, L., Vélez, C., Sevilla, F. & Otoniel, M. 2006. Variación estructural de comunidades de macroinvertebrados edaficloas en tres sistemas de uso de suelo en el municipio de Cerrito, Valle del Cauca. Colombia. 1-14 p.
- Pearce, S. & Zaluchi, M.P. 2006. Do predators aggregate n response to pest density in agroecosystem? Assessing within-field spatial patterns. *Journal of applied Ecology* 43: 128-140.
- Peck, S.L.1998. Using ant species (hymenoptera: Formicidae) as a biological indicator of agroecosystem condition. *Environmental Entomology* 27: 1102-1110.
- Perry, J. & Hewitt, M. 1991. A new index of aggregation for animal count. *Biometrics* 47: 1505-1518.
- Perry, J. 1994. Spatial aspects of animal plant distribution in patchy farmland habitats. Pp. 221-242 en *Ecology and integrated farming systems.* Glen, D.M., Graves, P.M & Anderson, H.M. (ed.) Wiley & Sons. Bristol, United Kingdom. 329 p.
- Perry, J., Bell, E.D., Smith, R.H. & Woiwod, I.P. 1996. SADIE: software to measure and model spatial pattern. *Modeling in applied biology: Spatial aspects.* *Aspects of applied biology* 46: 95-102.
- Perry, J.N. 1998. Measures of spatial pattern for counts. *Ecology* 79 (3): 1008-1017.
- Perry, J.N., Winder, L., Holland, J.M. & Alston, R.D. 1999. Red-blue plots for detecting cluster in count data. *Ecology Letters* 2: 1906-113.

- Pielou, E.C. 1977. *Mathematical ecology*. Wiley, New York. USA. 153p.
- Powell, T. & Rucherson, P.J. 1985. Temporal variation, spatial heterogeneity and competition for resources in plankton systems: a theoretical model. *American naturalist* 125: 431-644.
- Pringle, C.M. 1990. Nutrient spatial heterogeneity. Effects on community structure, physiognomy and diversity of stream algae. *Ecology* 71: 905- 920.
- Robertson, G.P & Freckman, D.W. 1995. The spatial distribution of nematode throphic groups across a cultivated ecosystem. *Ecology* 76 (5): 1425-1433.
- Rodríguez, M. 1992. Control de plagas de plantas y animales. Editorial LIMUSA S.A. de C.V. Pp. 27- 180.
- Rodríguez, M.C. 1998. Evaluación y diagnostico de macrofauna y mesofauna edáficas de los suelos restaurados por industrias APASCO en cerro Buenavista, VER. Tesis de maestría en ecología y manejo de recursos naturales. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México. 136p.
- Rojas, P. & Fragoso, C. 1994. Fauna de suelo del estado de Veracruz. En: Gonzales-Chirsten, A. & Gonzales-Romero, A. (eds.). *Problemática ambiental en el estado de Veracruz: Recursos faunísticos*. Colegio profesional de Biólogos del estado de Veracruz. Xalapa. México. Pp. 59-74.
- Rossi, R.E., Mulla, D.J., Journel, A.G. & Franz, E.H. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs* 62 (2), 277-314.
- Sain, P. & Broadbent, F.E. 1977. Decomposition of rice straw in soils as affected by some management factors. *Journal of environmental quality* 6: 96-100.
- Schaefer, R. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica* 25: 130-150.
- SENAFAD. 1985. Manejo mínimo eficiente. Cultivo de café con sombrío de plátano. Bogotá, Colombia. Pp. 96.
- Siegel, S. & Castellan, N.J. 1995. *Estadística no parametrica. Aplicada a las ciencias de la conducta*. Cuarta edición. Editorial Trillas. México, D.F., México. 437p.
- Silva, A., Ponce De León, J., Carassa, R., Reyes, W. 1992. Efecto de la aplicación de efluentes orgánicos de tambo sobre la producción de veraderos y propiedades físico-químicas del suelo. *Notas Técnicas*. Facultad de Agronomía. Uruguay. 16p.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.L. 1981. *Biometry*. Second Edition. San Francisco, USA. 21p.
- Steel, R.G. & Torrie, J.H. 1985. *Bioestadística: principios y procedimientos*. MacGraw hill. México, D.F., México. 122p.
- Swift, M.J. & Anderson, J.M. 1993. Biodiversity and Ecosystem function in Agricultural systems. Pp. en: 15-41en: Schultz, E.D. & Mooney, H. (Ed.). *Biodiversity and ecosystem function*. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 523 p.
- Swift, M., Heal, O. & Anderson, J. 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. University of California Press. Berkeley and Angeles, USA. 372p.

Swift, M.J. & Anderson, J.M. 1989. Decomposition (Pp. 547-569). En: Lieth, H. & Werger, M.J.A. (eds.) tropical rain forest ecosystems. Biogeographical and Ecological Studies. Elsevier. New York, USA. Pp. 19-26

Turner, B.L., Skole, D., Sanderson, G., Fisher, G., Fresco, L. & Leemans, R. 1995. Land-use and land-cover change: science/research plan. International Congress of Scientific Unions and International Science Council. Stockholm. 85p.

Verhoef, H.A. & Brussaard, L. 1990. Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agroecosystems: the contribution of soil animals. Biogeochemistry 11: 175-211.

Villarreal, H., Alvarez, M., Cordoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. & Umaña, M. 2004. Manual de métodos de desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventarios de biodiversidad. Instituto Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia. 243p.

Wallwork. J.A. 1976. The distribution and diversity of soil fauna. Academic press inx, London. England. 355p.

Wardle, D.A. 2002. Communities and ecosystems: linking aboveground and belowground. Princeton University Press. New Jersey, USA. 84p.

Wardle, D.A & Lavelle, P. 1997. Linkage between soil biota, plant quality and decomposition. Plant litter quality and decomposition. CAB International. London, United Kingdom. 275p.

Wheater, C., Cullen, W & Bell, J. 2000. Spider communities as tools in monitoring reclaimed limestone quarry landforms. Landscape ecology 15: 401-406

Williams, G. 1959. Seasonal and diurnal activity of Carabidae with particular referent to *Nebria*, *Notiophilus* and *Feronia*. Animal Ecology 28: 309-330.