

**CARACTERIZACION FISICO – QUIMICA DEL SUELO EN TRES COBERTURAS
VEGETALES Y SU RELACION CON LA MACROFAUNA DEL SUELO EN LA
VEREDA LA JOSEFINA MUNICIPIO DE PASTO, NARIÑO**

CLAUDIA ANDREA RODRIGUEZ NARVAEZ

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2005**

**CARACTERIZACION FISICO – QUIMICA DEL SUELO EN TRES COBERTURAS
VEGETALES Y SU RELACION CON LA MACROFAUNA DEL SUELO EN LA
VEREDA LA JOSEFINA MUNICIPIO DE PASTO, NARIÑO**

CLAUDIA ANDREA RODRIGUEZ NARVAEZ

**Tesis de Grado presentada como requisito parcial para optar al título de:
INGENIERA AGROFORESTAL**

Presidente de Tesis

Dilia Marina Coral Eraso, I.A., M.Sc.

Copresidente

Alberto E. Unigarro Sánchez, I.A., M.Sc.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2005**

“Las ideas y conclusiones aportadas en el presente trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de su autor.”

Artículo 1º del acuerdo No. 324 del 11 de Octubre de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

DILIA MARINA CORAL ERASO
Presidente de Tesis

MAURICIO OLIVEROS DIAZ
Asesor Delegado

GERMAN CHAVES JURADO
Jurado

GUILLERMO CASTILLO BELALCAZAR
Jurado

San Juan de Pasto, noviembre de 2005

AGRADECIMIENTOS

A Dilia Marina Coral Eraso., I.A., M.Sc., por su acertada dirección y colaboración en la realización del presente trabajo de investigación.

A Alberto Unigarro Sánchez., I.A., M.Sc. por sus sugerencias y apoyo en el desarrollo del trabajo de campo y laboratorio.

A Hernán Burbano Orjuela., I.A., M.Sc. por sus sugerencias para el desarrollo del trabajo de investigación.

A María del Rosario Carreño Castellanos Téc. Química, por su desinteresada colaboración en las determinaciones físicas y químicas en las instalaciones de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

A Guillermo Castillo Belalcazar, Biólogo, M.Sc. por sus sugerencias para el desarrollo de la investigación

A Mauricio Oliveros Díaz, I. Agroforestal, por sus sugerencias para el desarrollo de la investigación.

A Germán Chávez Jurado, I.A., Esp. Ecología, por sus sugerencias para el desarrollo de la investigación

A William Ballesteros Possú, I. Agroforestal, M.Sc. por su colaboración en la parte estadística

A Jairo Andrés del Valle por su ayuda constante en el desarrollo del trabajo de campo

A Mi familia por su estímulo permanente

Al personal de Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño por brindarme el espacio, apoyo y colaboración en las diferentes determinaciones analíticas.

A la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño por permitirme hacer parte de los estudiantes del Programa de Ingeniería Agroforestal.

A todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron para la culminación de esta investigación

DEDICATORIA

A mis padres Olmedo y Emma
A mis hermanos Aida Lucy y Javier
A Mi hijo Juan Jacobo
A Juan José, Isabella, Luisa Sofía, y Paulina

Claudia A. Rodríguez N.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	20
1. REVISION DE LITERATURA	23
1.1 EL SUELO COMO UN SISTEMA	23
1.2 EL BOSQUE COMO UN ECOSISTEMA	25
1.3 FAUNA DEL SUELO	27
1.3.1 Clasificación de la fauna del suelo	28
1.3.2 Actividad de la macrofauna del suelo	30
1.3.3 Investigaciones de la macrofauna del suelo realizadas en Colombia	31
2. MATERIALES Y METODOS	37
2.1 LOCALIZACION	37
2.2 CARACTERIZACION EDAFOLÓGICA	37
2.2.1 Muestreo	37
2.2.2 Características físicas del suelo	37
2.2.3 Características químicas del suelo	38
2.2.4 Características biológicas del suelo	38
2.3 ANALISIS DE LA INFORMACION	39
3. RESULTADOS Y DISCUSION	40
3.1 CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS SUELOS	40
3.1.1 Humedad gravimétrica	40
3.1.2 Humedad higroscópica	43

3.1.3	Humedad a capacidad de campo	43
3.1.4	Densidad aparente	45
3.1.5	Densidad real	46
3.1.6	Porosidad total	46
3.1.7	Grado textural del suelo	48
3.2	CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL SUELO	52
3.2.1	Reacción del suelo (pH)	52
3.2.2	Materia orgánica	53
3.2.3	Capacidad de intercambio catiónico	55
3.3	CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS DEL SUELO	56
3.3.1	Abundancia de la macrofauna del suelo	56
3.3.2	Biomasa de la macrofauna del suelo	62
3.3.3	Distribución vertical de la macrofauna del suelo	66
3.3.4	Índice de diversidad de Shannon-Wiener	73
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
4.1	CONCLUSIONES	75
4.2	RECOMENDACIONES	76
	BIBLIOGRAFIA	77
	ANEXOS	83

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Análisis de varianza para algunas características físicas obtenidas en el suelo bajo tres coberturas forestales	41
Cuadro 2. Análisis de varianza para algunas características químicas del suelo obtenidas bajo tres coberturas forestales	52
Cuadro 3. Análisis de varianza para algunas características biológicas del suelo obtenidas bajo tres coberturas forestales	57

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Humedad gravimétrica del suelo obtenida bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades	40
Figura 2. Humedad del suelo a capacidad de campo obtenida bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades	44
Figura 3. Porosidad total del suelo obtenida bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades.	47
Figura 4. Porcentaje de arenas del suelo obtenido bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades	49
Figura 5. Porcentaje de limos del suelo obtenido bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades	50
Figura 6. Porcentaje de arcillas del suelo obtenido bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades	51
Figura 7. Contenido de materia orgánica del suelo obtenido bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades	54
Figura 8. Abundancia (número de individuos m ⁻²) de la macrofauna asociada al suelo bajo cobertura de rastrojo (sucesión natural)	58
Figura 9. Abundancia (número de individuos m ⁻²) de la macrofauna asociada al suelo bajo cobertura de Pino <i>Pinus patula</i>	58
Figura 10. Abundancia (número de individuos m ⁻²) de la macrofauna asociada al suelo bajo cobertura de roble <i>Quercus humboldtii</i> .	59
Figura 11. Biomasa (g.p.f.m ⁻²) de la macrofauna asociada al suelo bajo cobertura de rastrojo	63
Figura 12. Biomasa (g.p.f.m ⁻²) de la macrofauna asociada al suelo bajo coberturas de pino <i>Pinus patula</i>	64
Figura 13. Biomasa (g.p.f.m ⁻²) de la macrofauna asociada al suelo bajo cobertura de roble <i>Quercus humboldtii</i>	64

Figura 14. Distribución vertical de la macrofauna asociada al suelo en los primeros 0 – 10 cm bajo cobertura de una sucesión natural	66
Figura 15. Distribución vertical de la macrofauna asociada al suelo entre los 10 - 20 cm bajo cobertura de una sucesión natural	68
Figura 16. Distribución vertical de la macrofauna asociada al suelo entre los 0 - 10 cm bajo cobertura de roble <i>Quercus humboldtii</i>	69
Figura 17. Distribución vertical de la macrofauna asociada al suelo entre los 10 – 20 cm bajo cobertura de roble <i>Quercus humboldtii</i>	70
Figura 18. Distribución vertical de la macrofauna asociada al suelo entre los 0 – 10 cm bajo cobertura de pino <i>Pinus patula</i>	70
Figura 19. Distribución vertical de la macrofauna asociada al suelo entre los 10 – 20 cm bajo cobertura de pino <i>Pinus patula</i>	71
Figura 20. Índice de diversidad de Shannon – Wiener calculado para tres coberturas vegetales	73

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Correlación entre las variables edafológicas estudiadas	84
Anexo B. Especies vegetales encontradas en la sucesión natural (Rastrojo)	87
Anexo C. Comparación de promedios para la humedad higroscópica y la capacidad de intercambio catiónica obtenida en el suelo bajo tres coberturas vegetales. Prueba de Tukey (valores con la misma letra, no presentan diferencias estadísticas significativas).	88
Anexo D. Comparación de promedios para la capacidad de intercambio catiónica obtenida en diferentes profundidades en el suelo bajo tres coberturas vegetales. Prueba de Tukey (valores con la misma letra, no presentan diferencias estadísticas significativas)	88

GLOSARIO

ANECICOS: organismos del suelo que viven en los horizontes más profundos

COPROFAGOS: organismos que se alimentan de excretas

EDAFOFAUNA: organismos presentes en el suelo

ENDOGEICOS: organismos que se establecen en la fracción mineral del suelo y se alimentan de la fracción orgánica

EPIGEICOS: organismos que viven en el horizonte orgánico del suelo y se alimentan de él

EUEDAFON: organismos que se ubican en la fracción mineral del suelo

GEÓFAGO: organismos consumidores de suelo

GEOFILO: organismos del suelo que cumplen una o más fases de su ciclo biológico dentro del suelo

GEOBIONTE: organismos que cumplen todo su ciclo biológico en el suelo

MACROFAUNA: organismos de tamaño mayor a 2 mm

MANTILLO O LITTER: residuos de plantas que permanecen sobre la superficie del suelo

MEGAFUNA: vertebrados que efectúan modificación de orden físico en los suelos.

MESOFUNA: organismos de tamaño entre 0,2 – 2 mm

MICROFAUNA: organismos de tamaño menor a 0,2 mm

MICROFILICO: organismos que consumen algas y hongos

RESILIENCIA: capacidad que tienen los suelos de recuperar su estado natural después de haber sufrido algún tipo de perturbación

SAPROFAGO: organismos que se alimentan de residuos orgánicos

RESUMEN

Bajo cobertura de pino *Pinus patula* Schlech. et Cham., roble *Quercus humboldtii* y una sucesión natural (rastrojo), se realizó la caracterización físico – química de los suelos, a dos profundidades (0 – 10 y 10 – 20 cm) y se relacionaron con algunas características de la macrofauna presente. El muestreo se realizó en la vereda La Josefina del municipio de Pasto, entre los meses de enero y abril de 2003, en predios pertenecientes a la Orden Hospitalaria de San Juan de Dios.

Los suelos presentan una textura arcillosa, con porcentajes de arcilla superiores al 70%; la humedad gravimétrica mayor del 49%, la humedad a capacidad de campo mayor del 60%, la densidad aparente menor de 0,7 g/cc, la densidad real menor de 2,13 g/cc y la porosidad total mayor del 63%. El pH es extremadamente ácido (menor de 4,7), el contenido de materia orgánica alto (mayor del 16%), al igual que la CIC (mayor de 35 meq/100 g de suelo).

Bajo la cobertura de pino, se recolectó 1185 individuos de los cuales el 53,24% correspondieron a la clase Oligochaeta, en menor proporción se encuentra la Insecta (28,44%), Chilópoda (6,48%), Diplópoda (5,82%) y Arachnida (3,8%). En el bosque de roble, se recolectaron 736 organismos de los cuales la clase Insecta aportó con el 57,96% de los individuos, en menor cantidad Chilópoda (22,41%), Arachnida (11,68%), Diplópoda y Oligochaeta con el 4,48 cada una. En la sucesión natural, de los 908 individuos colectados, el 52% correspondió a la clase Insecta, seguido del aporte realizado por la Oligochaeta (19,49%), Arachnida (12,44%), Chilópoda (8,92%) y Diplópoda (7,15%).

La mayor biomasa, se presentó en la plantación de pino con 41,88% (12,33 g.p.f. m⁻²), donde el mayor aporte lo realizó la clase Oligochaeta con 8,11 g.p.f. m⁻²; seguido por la sucesión natural con 32,09% (9,58 g.p.f. m⁻²) y roble con 26,01% (9,19 g.p.f. m⁻²), donde el mayor aporte lo realizó la clase Insecta.

La distribución vertical, mostró que la cobertura de rastrojo presentó los mayores valores en los primeros 0 -10 cm (720 ind./estrato), de 10 - 20 cm 188 ind./estrato; seguido de la plantación de pino con 163 ind./estrato para la primera profundidad (0 – 10 cm) y 572 ind./estrato de 10 - 20 cm; el reducto de roble reportó 530 ind./estrato (0 - 10 cm) y 206 ind./estrato de 10-20 cm.

El mayor índice de diversidad se encontró en sucesión natural con un valor de 3,21 seguido por el reducto de roble la (2,74) y la plantación de pino (2,25).

Los grupos más representativos correspondieron a la clase Oligochaeta el cual aporta el 29,72% del total de organismos recolectados, seguido de la clase Insecta orden Coleóptera (17,63%), clase Chilópoda (11,41%), clase Insecta orden Diplura

(9,7%), clase Arachnida (8,62%), clase Diplópoda (6,39%) clase Insecta orden Díptera (6,01%) y clase Insecta orden Hymenóptera (5,65%).

La abundancia de la macrofauna del suelo bajo cobertura de pino, estuvo correlacionada con el porcentaje de arenas y de limos, al igual que con la distribución vertical. Bajo la cobertura de sucesión natural, la abundancia se correlacionó con la humedad gravimétrica, la humedad a capacidad de campo, la densidad real y con el contenido de materia orgánica. La biomasa estuvo correlacionada con la humedad gravimétrica, el contenido de materia orgánica la abundancia y la distribución vertical de la macrofauna del suelo; y la distribución vertical correlacionó con la humedad gravimétrica, la humedad a capacidad de campo y con el contenido de materia orgánica.

ABSTRACT

Under covering of pine *Pinus patula*, oak tree *Quercus humboldtii* and a natural succession (stubble), the physical – chemical characterization of soils was related to some characteristics of present macrofauna, sampling was made in the path La Josefina from the municipality of Pasto, between January and April 2003 in some plots belonged to the Hospital Order of San Juan de Dios.

Soils have a clay texture with percentages of clay higher than 70%, the gravimetric humidity higher than 49%, the humidity in country capacity higher than 60%, the apparent density less than 0.7g/cc, a real density less than 2.13 g/cc and a total porosity higher than 63% the pH is extremely and (less than 4.7), the content of organic matter was high (higher than 16%) as well as the CIC (higher than 36 meg/100 g of soil).

Under covering of pine, 1185 individuals were collected from which 53.24% corresponded to the Oligochaeta class, Insecta (28.44%), Chilopoda (6.48%), Diplopoda (5.82%) and Arachnida (3.8%) are found in a lower proportion. In the oak tree forest, 736 organisms were collected from which the Insecta class contributed to 57.96% of individuals, while Chilopoda did in a lower quantity (22.41%), Arachnida (11.68%), Diplopoda and Oligochaeta with 4.48 each one. In the natural succession, from 908 individuals collected, the 52% corresponded to Insecta class, followed by the contribution made by the Oligochaeta (19.49%), Arachnida (12.44%), Chilopoda (8.92%) and Diplopoda (7.15%).

The highest biomass was shown in pine plantation with 41.88 % (12.33 g.p.f.m⁻²), where the highest contribution was made by Oligochaeta class with 8,11 g.p.f. m⁻²; and oak tree with 26.01% (9.19 g.p.f m⁻²), where the highest contribution was made by Insecta class.

The vertical distribution showed that stubble covering had its highest value in the first 10 cm (720 ind/stratum), from 10 to 20 cm ind/stratum; followed by pine plantation with 163 ind/stratum from 10 to 20 cm. the oak tree redoubt reported 530 ind/stratum (0-10 cm) and 206 ind/stratum from 10 to 20 cm.

The highest rate of diversity was found in the oak tree redoubt with a value of 3.64, followed by natural succession (3.25) and pine plantation (2.30).

The most representative groups corresponded to Oligochaeta class which contributes to 29.72% of the total number of organisms collected, followed by Insecta class, coleopteran order (17.63%), Chilopoda class (11.41%), Insecta class, Diplura order (9.7), Arachnida class (8.62%), Diplopoda class (6.39%),

Insecta class Diptera order (6.39%) and Insecta class, Hymenoptaria order (5.65%).

The abundance of macrofauna of soil under pine covering was related to percentages of sand and slimes as well as the vertical distribution. Under the natural succession covering, the abundance was related to gravimetric humidity, the humidity in country capacity, the real density and the content of organic matter. The biomass was related to gravimetric humidity, the content of organic matter, the abundance and the vertical distribution of soil macrofauna; and the vertical, distribution was related to gravimetric humidity, the humidity in country capacity and the content of organic matter.

INTRODUCCION

Según Gupta y Malik (1996)¹, el suelo como parte del sistema natural y social cumple unas funciones que son de naturaleza biológica, alimentaria, depuradora y de soporte mecánico. Merced a las dos primeras, el suelo alberga gran número de especies animales y vegetales responsables de la actividad biológica esencial para la formación, funcionamiento y fertilidad del propio suelo y es, además, fuente de numerosos elementos esenciales para la vida de las plantas y animales.

Así el concepto que define al suelo como un cuerpo natural que soporta o es capaz de soportar plantas, según Kimpe y Wakertin (1998)², ha evolucionado a una percepción más amplia que reconoce al suelo como un recurso viviente y dinámico capaz de sostener la actividad, la productividad y la diversidad biológica; regular y repartir el flujo de agua y los solutos; filtrar, regular, degradar, inmovilizar y desintoxicar materiales orgánicos e inorgánicos; almacenar y reciclar nutrientes y otros elementos dentro de la biosfera de la tierra y proveer estructuras económicas y protección a los tesoros arqueológicos asociados al hábitat humano.

Por tanto, acciones que involucren perturbaciones en la dinámica de los procesos mencionados, pueden desembocar en desequilibrios de un ecosistema dado, y conllevar a que en poco tiempo se inicien procesos de deterioro o degradación del suelo, al incidir negativamente en forma parcial o total en sus funciones.

De otra parte, el suelo se ha estudiado ampliamente desde sus propiedades físicas y químicas, porque se han estandarizado métodos relativamente simples para medirlas. Sin embargo, ha habido desconocimiento del papel de la biota en el establecimiento de tales características y en el potencial productivo de los suelos, tal vez debido a la dificultad para estudiarla dada la compleja diversidad de los organismos que lo habitan, falta de comprensión de las funciones que realizan y la escasez de métodos confiables.

¹ GUPTA, y MALIK, citados por UNIGARRO, Alberto. Evaluación de la calidad de un suelo Dystric Cryandepht mediante la determinación de algunas propiedades biológicas, químicas y físicas, en el Santuario de Flora y Fauna Galeras, Nariño. Palmira, 2005, 148 p. Trabajo de grado (M.Sc.). Universidad Nacional de Colombia.

² KIMPE, y WAKERTIN, citados por OBANDO, F., MONTES, J. y ZULUAGA, M. Desarrollo de indicadores de calidad inherente y dinámica de Andisoles en el departamento de Caldas. En: I Taller Nacional sobre indicadores de calidad del suelo. [CD-ROM]: PDF. Palmira, Colombia: CIAT, 2004.

Esta investigación se realizó bajo la premisa que existe una relación estrecha entre la vida vegetal y la actividad de la macrofauna del suelo; de allí, que trabajos que involucren el reconocimiento cuantitativo y cualitativo de poblaciones de macroinvertebrados en el suelo con diferentes coberturas (intervención), acercan a la comprensión de estas relaciones y la posibilidad de actuar sobre ellas, al tiempo que se avanza en la búsqueda de bioindicadores de calidad del suelo.

Dentro de esta perspectiva, se planeó el presente trabajo, cuyos objetivos fueron:

- Realizar una caracterización físico –química de los suelos bajo coberturas de roble *Quercus humboldtii*, pino *Pinus patula* y una sucesión natural (rastrojo).
- Evaluar la abundancia, biomasa, distribución vertical e índice de diversidad de la macrofauna del suelo presente bajo tres coberturas forestales.
- Correlacionar algunos parámetros físico – químicos del suelo con algunas de las características biológicas de la macrofauna del suelo en tres coberturas vegetales.

Para determinar las propiedades físicas y químicas del suelo se siguieron los procedimientos que se utilizan actualmente en el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño³. La estimación de la macrofauna del suelo se basó en los procedimientos del Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF)⁴.

En general, los suelos presentaron una reacción (pH) fuertemente ácida, con altos contenidos de materia orgánica y CIC, los valores de porosidad total, humedad gravimétrica, humedad a capacidad de campo se consideran altos y los de densidad aparente y densidad real como bajos.

Se recolectaron 2829 individuos m⁻²; el mayor aporte en el rastrojo (908 individuos), lo realizan la clase Insecta (órdenes Hymenóptera y Coleóptera) y Oligochaeta, en la cobertura de roble (736 individuos) la clase Insecta (órdenes Coleóptera y Diplura) y Chilópoda, y en la cobertura de pino (1185 individuos) la clase Oligochaeta e Insecta (órdenes Coleóptera y Díptera).

La mayor biomasa de los macroinvertebrados del suelo se encontró en la plantación con pino (41,88%), seguido de la aportada en el rastrojo (32,09%) y la plantación de roble (26,01%).

³ UNIGARRO, Alberto y CARREÑO, María. Métodos químicos para el análisis de suelos. San Juan de Pasto : Universidad de Nariño, 2005. 72 p.

⁴ ANDERSON, J. and INGRAM, J. Tropical soil biology and fertility programme. A Handbook of Methods. Wallingford : Second edition. CAB International., TSBF, 1993. 96 p.

La plantación de pino presentó un índice de diversidad de 2,25, el rastrojo de 3,21 y el reducto de roble 2,74.

Además, se establecieron relaciones entre los parámetros físicos y químicos evaluados y entre éstos y las propiedades biológicas.

1. REVISION DE LITERATURA

1.1 EL SUELO COMO UN SISTEMA

Según Doran et al., (1996)⁵ los suelos tienen partículas minerales como las arenas, limos y arcillas; diferentes formas de materia orgánica; numerosos organismos; agua y gases. Las propiedades físicas y químicas del suelo regulan la actividad biológica y los intercambios moléculas – iones entre las fases sólida, líquida y gaseosa las cuales determinan el ciclaje de nutrientes (por medio de la mineralización – inmovilización microbial), el crecimiento de la planta y la descomposición de los materiales orgánicos. Los componentes inorgánicos del suelo gobiernan la retención de cationes por medio del intercambio iónico y los compuestos orgánicos no polares y los aniones a través de las reacciones de sorción. El suelo también sirve como un depósito esencial de agua para las plantas superiores y los microorganismos y como un filtro a través del cual pasa el agua.

Por tanto, el suelo es un sistema que nace –sufrir una génesis que lleva a su formación-, tiene estructura –conferida por sus coloides orgánicos y minerales-, posee metabolismo propio –libera gas carbónico (CO₂) y aspira O₂ mediante procesos de mineralización y síntesis-, forma minerales de reserva –humus- y puede envejecer y morir. Muchas de sus características de sistema viviente son conferidas por la materia orgánica y biota que lo habita, hasta el punto que cuando éstas desaparecen, cesa de ser calificado como suelo^{6 7}

Según varios autores citados por Sánchez de Prager⁸, hasta hace pocos años, tres décadas a lo sumo, las propiedades del suelo, se estudiaban,

⁵ DORAN, et. al., (1996) citados por BURBANO, Hernán. Evaluación integral de la calidad del recurso suelo en el Santuario de Flora y Fauna del volcán Galeras, sur de Colombia. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Sistema de Investigaciones – VIPRI, 2005. 368 p.

⁶ BURBANO, Hernán. Materia orgánica, acción microbial y alternativas bioorgánicas para la sostenibilidad de los suelos agrícolas. En: Estrategias para la productividad de los suelos agrícolas. Ibagué: SCCS, 2000. 30 p.

⁷ SANCHEZ DE PRAGER, Marina y GOMEZ, Eyder. El suelo: un sistema vivo. Instituto de Estudios Ambientales – IDEA. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 14 p. Cuadernos Ambientales.

⁸ SANCHEZ DE PRAGER, Marina. Actividad biológica en la rizosfera del maracuya en diferentes sistemas de manejo, estados de desarrollo y condiciones fitosanitarias. Madrid, España, 2003, 230 p. Tesis doctoral (Ingeniera Agrónoma). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.

principalmente, ligadas a la productividad. El entendimiento del suelo como recurso finito –contribución de la visión agroecológica- ha creado espacios para que conceptos como calidad y resiliencia del suelo, al igual que sostenibilidad, cobren vigencia, justifiquen por si mismo su estudio y al mismo tiempo introduzcan miradas diferentes con respecto a la productividad.

Por calidad del suelo se entiende su capacidad para producir cultivos seguros y nutritivos de una manera sostenible a largo plazo, sin impactar los recursos naturales o dañar el ambiente; también se ha incluido, la disponibilidad de nutrientes en el suelo para asegurar la productividad de un cultivo, su capacidad para soportar la erosión y reducir el impacto de estrés ambiental sobre las plantas que se van a manifestar en medios sanos y alimentos saludables que garanticen la calidad de vida⁹.

La resiliencia es la capacidad del suelo para recuperarse de los impactos externos (Soil resilience) la cual depende de factores exógenos como son el uso de la tierra, los sistemas de cultivo, las innovaciones tecnológicas, el uso de insumos y el manejo que se da a los mismos. También depende de factores endógenos como la profundidad efectiva, la textura, la mineralogía de las arcillas, el material parental, la posición en el paisaje, el régimen de humedad del suelo, las condiciones climáticas (macro y microclima) y la biodiversidad del suelo. La resiliencia del suelo se liga profundamente a la calidad del suelo, pues a través de la conservación de ésta última, se garantiza la permanencia y estabilidad del sistema suelo, en la medida que las perturbaciones negativas no constituyan común denominador¹⁰.

Para muchos el manejo sostenible significa estabilidad y seguridad en la producción, para otros consiste en proteger y mejorar la base de los recursos, naturales, bióticos y abióticos; y para otros, mantener el orden social (familia rural) es esencial para la sostenibilidad. Así, el concepto de sostenibilidad es multidimensional. Por ello, el manejo sostenible requiere que éstos y otros importantes conceptos sean encarados simultáneamente¹¹.

⁹ ELLIOT, L. and LYNCH, J. Biodiversity and soil resilience. In: Greenland, O. and Szabolcs, I. Eds. Soil resilience and sustainable land use. CAB International, 1994. 480 p.

¹⁰ GARCIA, Álvaro. La degradación de los suelos, un obstáculo para el desarrollo sostenible. En : CONGRESO SOBRE MANEJO DE SUELOS E IMPACTO AMBIENTAL (9º : 1998 : Paipa, Boyacá). Memorias del IX Congreso Sobre Manejo de Suelos e Impacto Ambiental. Paipa, Boyacá, Colombia: SCSC, 1998. 305 p.

¹¹ BURBANO, Hernán. Desarrollo sostenible y educación ambiental. Aproximación desde la naturaleza y la sociedad. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, 2000. 87 p.

Es claro que la sostenibilidad implica, ampliar y dirigir la investigación hacia sistemas productivos donde se manejen, integradamente el agua, el suelo, los bosques, las especies, el aire y el hombre¹².

Según Blum y Santelises (1994)¹³, manifiestan que los conceptos de resiliencia y sostenibilidad se describieron en 1994 con base en seis funciones, tres ecológicas y tres asociadas a la actividad humana. Las funciones fueron: producción de biomasa (alimentos, fibra, energía), protección de la contaminación del ambiente, agua subterránea y cadenas alimentarias (actuando como filtro tampón transformador de la materia); hábitat biológico y reserva genética de plantas, animales y organismos, los cuales son protegidos de la extinción. La actividad humana le asigna al suelo funciones como medio físico, fuente de materias primas (arcillas, arenas, gravas) y herencia cultural que alberga riquezas paleontológicas.

1.2 EL BOSQUE COMO UN ECOSISTEMA

Los bosques constituyen un ecosistema complejo (no es una mera colección o refugio de organismos individuales o una mezcla accidental de poblaciones), es un sistema dinámico de alto orden de organización en el cual los rasgos morfológicos, fisiológicos y ecológicos de los miembros individuales son eslabones unidos que crean formas y funciones no conocidas fuera del bosque¹⁴.

Los bosques nativos constituyen un recurso renovable muy importante por la gran diversidad genética que posee, la protección que brinda al suelo contra la erosión y el papel que juega sobre la comunidad al amortiguar las fluctuaciones climáticas; además, el bosque contribuye a mantener el flujo de agua ya que intercepta la humedad. Es además, el centro de conservación de la fauna e interviene en los procesos de formación de los suelos a través de agentes biológicos cuya acción contribuye a acelerar notablemente la velocidad de este proceso en los bosques¹⁵.

¹² CASTILLO, Jesús y AMÉZQUITA, Edgar. Identificación de indicadores de susceptibilidad del suelo a la erosión en Inceptisoles andinos. En: I Taller Nacional sobre indicadores de calidad del suelo. [CD-ROM]; PDF. Palmira, Colombia : CIAT, 2004.

¹³ BLUM Y SANTELISIS, citados por BURBANO, et al., Op.cit. 87 p.

¹⁴ PRITCHETT, William. Suelos Forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. México : Limusa, 1986. 576 p.

¹⁵ CHAMORRO, C. y GARCIA, M. Aspectos ecológicos del bosque alto Andino en una región de Monserrate. Investigaciones Vol. 2 No. 1 (1989), 190 p.

La cubierta forestal es sin duda la característica más distintiva de los suelos forestales y contribuye considerablemente al desarrollo de sus propiedades. El término se utiliza, por lo general, para designar a toda la materia orgánica, entre ella la hojarasca y las capas de materiales orgánicos en descomposición que descansan sobre la superficie del suelo mineral. Estas capas de materia orgánica y su microflora, así como su macrofauna, constituyen la fase verdaderamente dinámica del ambiente forestal y representan el criterio más importante para distinguir los suelos forestales de los agrícolas¹⁶.

Dicha cubierta constituye la zona donde vastas cantidades de restos vegetales y animales, así como el "litter" u hojarasca del bosque se desintegran por encima del suelo mineral. Gran parte de estos restos vegetales, además de tejidos de animales y productos de excreción, se mezclan gradualmente con el suelo mineral y, junto con las partes subterráneas de las plantas, forman la fracción orgánica del suelo. La cubierta forestal no es sólo fuente de alimentación, sino que constituye el hábitat para muchos tipos de microflora y fauna; además, las continuas adiciones de "litter" constituyen una fuente importante de nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo y azufre¹⁷.

Según Pritchett las condiciones favorables para la mayor parte de organismos puede hallarse en cierto nivel dentro de la capa de "litter" y los horizontes superficiales del suelo¹⁸.

Entre los cambios en el suelo por la implantación de pinos y eucaliptos", Erazo¹⁹ menciona:

Alteraciones en la estructura, presencia de grietas, cambios en la humedad edáfica y en la actividad biológica. La degradación estructural en plantaciones de eucalipto parece estar relacionada con los exudados radiculares (eucalipto) los cuales afectan la actividad biótica del suelo e indirectamente en la estabilización de agregados del suelo, contrario a lo que ocurre en suelos plantados con pinos donde los exudados radiculares (resinas) cubren los agregados del suelo, impidiendo el

¹⁶ PRITCHETT, Op.cit., p. 79.

¹⁷ HAROLD, H. y HOCKER, J. Introducción a la Biología Forestal. México : AGT, 1984. 534 p.

¹⁸ Op.cit., p. 105.

¹⁹ ERASO, Hernán. Estudio de la macrofauna del suelo bajo plantaciones de Pino (*Pinus patula* Schlech. et Cham.) y Eucaliptos (*Eucalyptus globulus* Labill.) en un suelo del altiplano de Pasto. San Juan de Pasto, 1999, 100 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agroforestal). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas.

humedecimiento de los agregados y por tanto incrementando su resistencia a la deformación o ruptura.

Según Ballesteros²⁰, el bosque nativo *Weinmannia* sp. presenta un almacenamiento cercano al 23% de la precipitación pluvial, el cual es alto comparado con el eucalipto el cual presenta un almacenamiento del 0,7% y el bosque de pino que presenta un déficit de 3,3% en la economía hídrica, pero éste último intercepta aproximadamente el 50% de la precipitación, debido a que la cobertura del estrato arbóreo es del 100%, el bosque nativo intercepta sólo el 29,5% (con una cobertura del 90%) y el bosque de eucalipto el 19%, ya que solo presenta una cobertura del 60%.

1.3 FAUNA DEL SUELO

Según Bonilla²¹ la comunidad biológica del suelo está generalmente conformada por protistos y organismos de los Phylum Arthropoda, Annelida y Mollusca. La mayor parte de estas comunidades ocupan hábitats como bosques, selvas y praderas, en los cuales el clima y la vegetación suministran la humedad y el alimento necesarios para garantizar su existencia.

Murphy (1953), Kevan (1970) y Wallwork (1970)²², con base en las dimensiones de los organismos han establecido tres grupos fundamentales para la fauna: micro, meso y macrofauna. Establecen el rango de 20 a 200 μ para incluir la microfauna; la mesofauna con un rango de 200 μ a 1 cm. y finalmente la macrofauna, cuyo tamaño es mayor de 1 cm.

Otros autores como Rapoport (1959)²³ han adicionado otra categoría para considerar aquellos vertebrados que efectúan modificaciones de orden físico en los suelos, la megafauna.

Según Newman (1988)²⁴, los microorganismos, representados por bacterias, hongos, actinomicetos, algas y protozoarios, actúan como

²⁰ BALLESTEROS citado por ERAZO, Hernán. Op. cit., p. 16.

²¹ BONILLA, Carmen. Notas preliminares sobre biología del suelo. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 1998. 72 p.

²² MURPHY, KEVAN Y WALLWORK, citados por CASTILLO, E. y AMAT, G. Caracterización biológica. Macrofauna y principales aspectos edafológicos de los suelos de zurales del municipio de Puerto Carreño (Vichada). Bogotá, 1986, 178 p. Trabajo de grado (Biólogo) Universidad Nacional de Colombia.

²³ RAPOPORT, citados por CASTILLO, E. y AMAT, Op. cit., 178 p

²⁴ NEWMAN, citado por BONILLA, Carmen. Op. cit, 74 p.

descomponedores primarios de la materia orgánica y contribuyen a la formación del humus. Los mesoorganismos están dominados por los artrópodos; muchos de ellos como los Collembolos y los ácaros cumplen funciones importantes en cuanto al desarrollo del suelo y al mantenimiento de su fertilidad.

1.3.1 Clasificación de la fauna del suelo. Para comprender el papel de un macroorganismo, dentro del ámbito edáfico, se hace necesario conocer tres aspectos fundamentales: su ubicación taxonómica, su permanencia y localización en el suelo y sus requerimientos alimenticios²⁵.

Con la identificación taxonómica, se conocen ciertos caracteres de naturaleza evolutiva y morfológica, además de contribuir a inventarios, censos, interpretaciones biogeográficas y estudios de poblaciones y de comunidades²⁶.

Kevan (1962)²⁷, asegura que el grado de permanencia de un organismo en el suelo, bajo condiciones normales para que se efectúe su ciclo biológico, corresponde a una segunda categoría que mide la importancia pedológica de las especies. De acuerdo con esta característica un organismo se llama Geobionte (permanentes o periódicos) si todas las fases de su ciclo biológico se cumplen en el suelo, y Geófilo (temporal o transitorio) si una o más fases del mismo ocurren dentro del ambiente edáfico.

Para efectos de clasificación de grupos, en función de su distribución en el perfil del suelo, Krausse (1928)²⁸ denomina Hemiedafón a todos los habitantes de la fauna que residen en el mantillo; Epiedafón a los que se establecen en la fracción orgánica y Euedafón a aquellos que ocupan la fracción mineral.

Lavelle²⁹ propuso llamar organismos epigéicos a todos aquellos de gran movilidad y coloración roja que viven en el horizonte orgánico y se alimentan de él. Clasificó como endogéicos a los organismos de coloración gris, carmelita y marrón que se establecen en la fracción mineral y se alimentan de la materia orgánica y los anécicos que se alimentan de materia orgánica y suelo en la noche pero habitan los

²⁵ CASTILLO, E. y AMAT, G. Op, cit., p 10.

²⁶ Ibid. p. 10.

²⁷ KEVAN, citado por CASTILLO, E. y AMAT, Op. cit., p. 178 p.

²⁸ KRAUSSE, citado por CASTILLO, E., y AMAT, Op. cit., p. 178 p.

²⁹ LAVELLE, Patric. The soil fauna of tropical savannas. In: Ecosystems of the world. Amsterdam : Bourliere Elsevier, 1985. 486 p.

horizontes minerales más profundos.

Para Hole³⁰ los animales (endógenos) se clasifican con base en la proporción del ciclo de vida que pasan en el suelo y/o la cantidad de nutrientes requeridos de él, posición del animal en la cadena alimenticia, tamaño del animal, capacidad para hacer perforaciones en el suelo, sus relaciones filogenéticas con otros animales y su función ecológica o nicho.

De acuerdo con la ubicación en el perfil del suelo la fauna puede ser clasificada como exopedónica y endopedónica. Los animales endopedónicos viven dentro del suelo y tienen características que los diferencian de los exopedónicos (viven sobre el suelo), tales como limitada movilidad, reducción visual, respiración a través de la piel, incremento en el desarrollo de órganos táctiles, baja resistencia a la desecación, poca pigmentación y tamaño relativamente pequeño³¹

Según Flórez (1993)³², de acuerdo a su ubicación dentro del perfil del suelo, el grupo de organismos se puede clasificar en epiedáficos, eudáficos y hemiedáficos.

Walwork (1976), Lavelle (1988), Store y Eggleton (1992)³³, manifiestan que la clasificación de la fauna de acuerdo al tamaño es relativa porque los tamaños varían entre organismos de la misma especie. Sin embargo, se ha propuesto la siguiente forma: microfauna, menor 0,2 mm (nematodos, protozoos y rotíferos); mesofauna, 0,2 - 2 mm sin capacidad para cavar en el suelo (ácaros, enquitreidos, larvas) y macrofauna, mayor 2 mm (coleópteros, himenópteros, lombrices).

Según García (1987)³⁴, de acuerdo con el tipo de aparato bucal, el hábitat y el tipo de vegetación la fauna del suelo puede ser saprófago si se alimenta de residuos orgánicos, fitófago prefiere tejidos vegetales vivos, microfílico el que consume algas y hongos, carnívoro si es a la vez predador y parásito, coprófagos aquellos que se alimentan de

³⁰ HOLE, F. Effects of animal on soil. *In*: Geoderma, 1981. 112 p.

³¹ *Ibid.*, p. 85.

³² FLÓREZ, citado por CORAL, Dilia. Impacto de las prácticas agrícolas sobre la macrofauna del suelo en la cuenca alta del Lago Guamues, Pasto, Colombia. Palmira, , 1998, 70 p. Trabajo de grado (M.Sc). Universidad Nacional de Colombia.

³³ WALWORK, LAVELLE Y STORE Y EGGLETON, citados por CORAL, Dilia. *Op cit.*, p. 7

³⁴ GARCÍA, citado por IGAC, Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. IGAC, subdirección Agrológica. Santa fe de Bogotá: IGAC, 1995. 558 p.

excretas y geófago consumidores de suelo.

1.3.2 Actividad de la macrofauna del suelo. Para De las Salas³⁵, la densidad y composición de los organismos del suelo, macrofauna y microflora, dependen de factores edáficos como la humedad, la temperatura, la aireación, la acidez y el estado nutricional, así como de los suministros de energía. Los mismos factores influyen decididamente en la distribución espacial de los mismos.

De igual manera Chamorro (1987)³⁶, menciona que la participación de la fauna edáfica en la incorporación de elementos y compuestos orgánicos a los ciclos de nutrientes es definitiva, razón por la cual es importante conocer la estructura y organización de los mismos en diferentes ecosistemas edáficos.

Según Fitz Patrick³⁷ entre los procesos biológicos más importantes que se desarrollan dentro del suelo en los cuales interviene la macrofauna del suelo se pueden mencionar la descomposición de la materia orgánica, la humificación, las transformaciones del nitrógeno y el desplazamiento del material de un lugar a otro.

Lee (1985)³⁸, menciona que, además, la macrofauna participa en el mantenimiento de la estructura del suelo, en la génesis y evolución de la pedósfera, en la modificación del pH y en el mejoramiento de su textura.

Por su parte, Decaens et al.,³⁹ manifiestan que la macrofauna puede modificar las propiedades físicas del suelo a través de la creación de tres tipos de estructuras: nidos y cámaras, heces (turrículos), poros y galerías. Las actividades mecánicas de los macroinvertebrados contribuyen también a la creación de una cantidad importante de huecos y galerías que airean el suelo e incrementan su permeabilidad.

Lavelle et al., (1992), Barois et al., (1993), Lavelle (1995)⁴⁰, manifiestan que las lombrices y termitas tienen efectos contrastantes sobre la

³⁵ DE LAS SALAS, Gonzalo. Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en el América Tropical. México: IICA, 1987. 444 p.

³⁶ CHAMORRO, citada por IGAC., Op, cit., p. 558 p.

³⁷ FITZ PATRICK, E. Introducción a la ciencia de los suelos. México, Trillas, 1996. p.86

³⁸ LEE, citado por FEIJOO, A y QUINTERO, V. Glossoscolecidae de una región de los andes del departamento del Valle, Colombia. Suelos Ecuatoriales 28 (1998), 300 p.

³⁹ DECAENS, J., et. al. La macrofauna del suelo en sistemas de producción agrícola: respuestas a las perturbaciones y perspectivas de manejo. Un caso de estudio en los Llanos orientales de Colombia. Suelos Ecuatoriales 28 (1998), 300 p.

⁴⁰ LAVELLE et.al., BAROIS et.al., y LAVELLE, citados por DECAENS et al., Ibid., 268 p.

dinámica de la materia orgánica según la escala de tiempo. A la escala de tiempo del tránsito digestivo (horas), la mineralización de la materia orgánica es favorecida. En su tracto digestivo, las lombrices, agregan al suelo ingerido materia hidrosoluble (mucus intestinal) y agua, facilitando una alta actividad microbial, el levantamiento de los bloqueos de los procesos de descomposición de la materia orgánica, y la liberación de elementos asimilables para las plantas. A una escala mediana (días a meses), en las heces secas y en los nidos, la materia orgánica resulta envuelta en agregados estables y protegida de una mineralización rápida. Estas estructuras luego pueden formar una reserva de nutrientes potencialmente utilizable para las plantas. A una escala de tiempo más larga (años a decenios), las actividades de la macrofauna pueden disminuir la pérdida de materia orgánica y mejorar su calidad porque facilitan la descomposición de la parte más resistente y protegen la fracción más reciente.

1.3.3 Investigaciones de la macrofauna del suelo realizadas en Colombia.

Unigarro⁴¹, en suelos del Santuario de Flora y Fauna Galeras, evaluó el efecto que la intervención antrópica ligada a las condiciones propias del páramo ocasiona sobre algunas propiedades de sus suelos. Como una aproximación a la obtención de indicadores de calidad indica la presencia de algunas clases, órdenes y familias de artrópodos; dentro de los factores físico-químicos el pH, la materia orgánica, la densidad aparente, la porosidad y la humedad gravimétrica.

Coral et al.,⁴² en la zona de reconversión del trigo en suelos de los Municipios de Tangua como indicadores biológicos de calidad del suelo proponen utilizar la distribución vertical y la abundancia de anélidos, para Yacuanquer, la diversidad. Bajo las condiciones edafológicas estudiadas, un suelo de buena calidad es aquel que presenta buena porosidad, permite una adecuada retención de nutrientes, es capaz de mantener una buena reserva de humedad y exhibe una adecuada actividad microbial.

Marín et al.,⁴³, al cuantificar la macrofauna en un vertisol bajo diferentes

⁴¹ UNIGARRO, Alberto. Op, cit., 148 p.

⁴² CORAL, Dilia, et. al. 2003. Uso de indicadores para evaluar la calidad del suelo en la zona de reconversión del cultivo de trigo, de los municipios de Tangua y Yacuanquer, Nariño. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Sistema de Investigaciones – VIPRI., 2003. 118 p.

⁴³ MARIN, E., FEIJOO, A. y Peña, J. Cuantificación de la macrofauna en un vertisol bajo diferentes sistemas de manejo en el Valle del Cauca, Colombia. Suelos Ecuatoriales 32 (2002), 300 p.

sistemas de manejo en el Valle del Cauca, encontraron que el cacaotal presentó la mayor riqueza taxonómica, albergando el mayor número de especies de lombrices, géneros de hormigas y familias de Coleópteros. Las hormigas es el grupo dominante seguido de las lombrices. El sistema con labranza reducida mulch tiller presentó una densidad de población mayor que los demás sistemas por la presencia de hormigas y lombrices. Los sistemas de labranza con cincel vibratorio y labranza convencional tuvieron baja diversidad y la menor abundancia y biomasa comparado con los demás sistemas.

Sadeghian, et al.,⁴⁴ al evaluar ocho agroecosistemas sobre la meso y macrofauna del suelo en dos unidades de suelo de la zona cafetera del Quindío, identificaron 20 grupos taxonómicos; los organismos más abundantes y comunes fueron las hormigas, con un promedio de 19 ind/muestra analizada (2300 cc); los ácaros, Collembola y Diplura presentaron promedios entre 1 y 2 ind./muestra. De los 19 componentes principales evaluados, tres explicaron el 40% de la variación total. El primer componente, conformado por ácaros, Coleópteros, Pseudoescorpiones, Diplópodos, Simfilidos y Quilópodos reunió a los guaduales y los cafetales tradicionales en un mismo grupo. Las ganaderías y los cultivos de yuca fueron los más similares y parcialmente diferentes a los cafetales tecnificados y los cítricos.

Eraso⁴⁵ encontró una mayor diversidad de la macrofauna asociada al suelo en plantaciones de eucaliptos, sin embargo, la mayor abundancia y biomasa se obtuvo en la pradera de kikuyo, seguida de la obtenida en las plantaciones de pinos.

Coral⁴⁶ al estudiar la macrofauna del suelo en la Reserva Natural “Refugio Campesino” en la cuenca alta del río Guamués, encontró que la mayor abundancia, biomasa, y diversidad se presenta en la selva secundaria, comparada con la obtenida para las condiciones de pradera y cultivo de cebolla.

Chamorro y Zuluaga⁴⁷ en 13 sitios de las regiones Andina, Orinocense y Amazónica, encontraron que el total de individuos analizados corresponden a cinco Phylum, 11 clases, 52 órdenes y 274 familias.

⁴⁴ SADEGHIAN, S., OROZCO, O. y MURGUEITO, E. Monitoreo del suelo en los agroecosistemas de alta montaña del Quindío. Bogotá : Suelos Ecuatoriales, Vol. 31 No. 2 (2001). 300 p.

⁴⁵ ERASO, Op.cit., p. 100.

⁴⁶ CORAL, Dilia., Op.cit., 118 p.

⁴⁷ CHAMORRO, C. y ZULUAGA, D. Comunidades bioedáficas en tres regiones naturales de Colombia. Suelos Ecuatoriales 28 (1988). 300 p.

Coleóptera alcanza su máxima representación en los suelos de la región Andina, por encima de los 2800 metros, así como en los bosques húmedos tropicales; Díptera, Hymenóptera y Hemíptera son frecuentes en las regiones Andina y Orinocense (Caño Limón); Lepidóptera en el Parque Natural de Amacayacú (Amazonas); Arachnida en la zona de Puerto Carreño (Orinoquia); Homóptera en las zonas altas de la región Andina así como en la Amazónica Orthoptera y Oligochaeta, en las regiones Andina, Amazónica y Pacífica. El análisis de frecuencia indica que las familias Staphylinidae, Phoridae, Carabidae, Chrysomelidae y Formicidae son las más frecuentes e importantes dado su carácter cosmopolita. Collembola, Acari, Himenóptera, Coleóptera, Díptera e Isóptera son los más abundantes del suelo; Collembola y Acari se destacan en los páramos, en las sabanas y llanuras de la Orinoquia y bosques de la Amazonia.

Peñaranda y Naranjo⁴⁸, al evaluar tres usos diferentes del suelo en la composición y variación de la edafofauna, en bosques nativos alternados con cultivos de pan coger, encontraron cuatro Phylum, siete clases, 26 órdenes y 84 familias, la mayoría de ellas pertenecientes a la clase Insecta, para un total de 101 taxa. Al comparar los resultados obtenidos bajo el bosque nativo con las zonas intervenidas, se evidencia una mayor densidad de los organismos en el bosque. El horizonte orgánico presentó una significativa riqueza taxonómica, su ausencia en los sitios intervenidos genera disminución o ausencia de algunas familias de los órdenes Collembola, Coleóptera, Orthoptera y Geophilomorpha. En general, la distribución vertical de los organismos tiene relación con parámetros como lluvias, radiación solar, textura, porosidad y materia orgánica. El cambio de uso generó diferentes comportamientos en los desplazamientos de los organismos durante el ciclo diario.

Feijoo y Knapp⁴⁹, con el fin de evaluar el efecto del uso de la tierra sobre abundancia, biomasa y biodiversidad de la macrofauna en la subcuenca del río Cabuyal, encontraron que en ambientes modificados algunos organismos resisten la bioturbación, mientras que en otras ocasiones desaparecen las poblaciones originales y los espacios son colonizados por especies cosmopolitas. Mencionan que existe una disminución de la macrofauna de acuerdo con el tipo de uso de la tierra, así en la Selva Secundaria la diversidad fue superior comparado con las praderas y

⁴⁸ PEÑARANDA, M. y NARANJO, G. Composición y variación de la edafofauna de un oxisol (petroférico Acroperox) del complejo migmatítico de Mitú bajo tres usos diferentes del suelo. Suelos Ecuatoriales 28 (1998), 300 p.

⁴⁹ FEIJOO, Alexander y KNAPP, E. El papel de los macroinvertebrados como indicadores de fertilidad y perturbación de suelos de laderas. Suelos Ecuatoriales 28 (1998), 300 p.

cultivos. La estructura trófica es estratificada con predominio de biomasa de Coleóptera, termitas y lombrices, otros grupos como hormigas, Miriápodos, Arachnida, Blattodea y Dermáptera tienen bajo valor. La introducción de pastos (*Pennisetum clandestinum*, *Melinis minutiflora* y *Brachiaria humidicola*), especies forestales (*Pinus patula*) y cultivadas (pino, café, asociaciones de yuca, frijón y maíz) disminuye la diversidad y aumenta la densidad.

Zuluaga et. al.,⁵⁰ al evaluar el componente bioedáfico de los suelos del área de Caño - Limón (Arauca), en la llanura aluvial de desborde del río Arauca, colectaron 54395 organismos pertenecientes a 4 Phylum, 9 clases, 21 órdenes y 102 familias identificadas, pertenecientes en su mayoría a la clase Insecta. La mayor actividad la presentan los órdenes Collembola (Insecta, Arthropoda) y Acari (Arachnida, Arthropoda), mientras que los órdenes Psocoptera y Embioptera (Insecta, Arthropoda) y Scorpionida (Arachnida, Arthropoda) son los taxa de la actividad más reducida. El análisis de correlación indica que el establecimiento de las comunidades bioedáficas depende más de las propiedades físicas del suelo, que de las químicas. Las características físicas de mayor influencia son la densidad aparente, la porosidad total y, la microporosidad. En términos generales; los parámetros químicos que están más correlacionados con la fauna edáfica son los contenidos de K, Na, Ca, C, y N, además de la saturación de Ca y Mg.

Decaens, et. al.,⁵¹ en Carimagua, Colombia, encontraron que los cultivos anuales tienen efecto dramático sobre las poblaciones de lombrices y artrópodos. El añade «los factores responsables de este fenómeno son utilización de fertilizantes, desaparición del mantillo en la superficie del suelo y la modificación climática que resulta de la tala de la vegetación natural». Estos junto con la aplicación de plaguicidas son los factores que más afectan la diversidad y abundancia de las comunidades del suelo; la perturbación y la tala de ecosistemas eliminan numerosas especies principalmente aquellas con nichos estrechos. Los cultivos perennes y los sistemas agroforestales tienen biomasa más alta que los ecosistemas. Las plantaciones con árboles leguminosas son ambientes sensibles pues ofrecen diversos recursos para la descomposición. Como resultado, éstos tienen a menudo alta diversidad, mientras que los cultivos anuales son las prácticas que más deprimen la fauna del suelo,

⁵⁰ ZULUAGA, D., et. al. Componente bioedáfico de los suelos Caño – Limón (Arauca – Colombia). Suelos Ecuatoriales 25 (1995), 300 p.

⁵¹ DECAENS, T., et. al. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. In : European Journal of Soil Biology, Vol. 30 No. 4 (1994). 168 p.

pocas semanas después de iniciar el cultivo la biomasa decrece rápidamente. Al contrario, las técnicas de cultivo tradicionales pueden conservar la fauna local, que se adapta mejor y resiste la intervención. Las praderas presentan en ocasiones más alta abundancia de macrofauna debido a la proliferación de especies nativas y exóticas de lombrices de tierra, larvas de coleópteros y hormigas.

Van der Hammen y Beglinger⁵², estudiaron la fauna de los suelos en tres transectos del Parque Nacional Natural de los Nevados (TPN), en la Cordillera Central. La biomasa de lombrices es mayor en el flanco oriental que en el occidental. La variación vertical de la biomasa de lombrices en el suelo muestra una zonación bastante clara, especialmente en el TPN oriental. En el TPN occidental hay una zonación parecida, aunque hay más variación irregular. Al comparar la mesofauna de la parte oriental (relativamente seca) con la parte occidental (relativamente húmeda) del transecto TPN, en la parte oriental la mesofauna de Ácaros, Collembolos y Formícidos es más abundante, el porcentaje de Collembolos es más alto y en la zona subandina el porcentaje de Formícidos es más alto. Si se considera la distribución vertical, tanto en el transecto oriental como en el occidental el número promedio total de individuos por litro por zona altitudinal crece desde la parte alta tropical y subandina por la zona andina hasta la zona del páramo. El mayor incremento de individuos lo tienen los Ácaros, seguido por los Collembolos. El número promedio más alto para otros elementos diferentes a los Ácaros, Collembolos y Formícidos, se encuentra en la zona de bosque andino.

Van der Hammen⁵³, al estudiar la fauna del suelo en el transecto Buriticá – La Cumbre (Sierra Nevada de Santa Marta) entre los 1500 y 3300 msnm, manifiesta la ausencia casi total de lombrices en la parte superior del suelo, por lo contrario son abundantes en el horizonte suelto granuloso de casi todos los suelos. Las muestras de mesofauna colectadas por el método de Berless indican que el grupo de mayor frecuencia de individuos es el de los Acárida. Los Collembola tienen una frecuencia más alta en la zona del páramo, y en parte en la zona tropical. Las hormigas son frecuentes por debajo de los 1700 m, pero se encuentran algunos hasta 2700 m. De los otros grupos, son de interés,

⁵² VAN DER HAMMEN, T. y BEGLINGER, E. Fauna de los suelos en el trayecto parque los Nevados. En : Studies on tropical Andean ecosystem. Vol. 3. Berlín Stuttgart. (1989); 445 p.

⁵³ VAN DER HAMMEN, T. La fauna de los suelos en el transecto Buriticá – La Cumbre (sierra nevada de Santa Marta): datos iniciales. En : Studies on tropical Andean ecosystem. Vol. 2. Berlin Stuttgart. (1984); 453 p.

los Pseudoscorpionidae, que tienen su distribución entre 1300 y 2900 m, y aun hasta 4100 m.

Sturm y Rangel⁵⁴, en su estudio sobre la ecología de los páramos Andinos, evaluaron la abundancia y diversidad de la fauna edáfica en páramos colombianos. Los autores reportaron una alta diversidad en las comunidades y promedios altos en los valores de nemátodos, enquitreide, acari y Collembola, lo que atribuyen al contenido relativamente alto en sustancias orgánicas aptas para la descomposición, por la humedad elevada y por la diversidad de nichos ecológicos.

Bernal y Figueroa⁵⁵, realizaron un estudio ecológico comparativo de la entomología de un bosque alto Andino y un páramo natural intervenido en la región de Monserrate. La investigación cuantificó la abundancia y diversidad de la fauna edáfica, componentes que contribuyen a determinar la organización de los ecosistemas mencionados.

En la sabana de Bogotá y sus páramos circundantes, la biología de los lombrícidos y su función ecológica han sido estudiadas ampliamente por Fajardo y Prince⁵⁶,

Chamorro y Cortés^{57 58} en los trabajos realizados han establecido aspectos de su taxonomía, ciclo biológico, condiciones ecológicas, parámetros poblacionales y su relación con los factores edáficos.

⁵⁴ STURM, H. y RANGEL, O. Ecología de los páramos andinos. Bogotá : Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, 1985. 235 p.

⁵⁵ BERNAL, A. y FIGUEROA, G. Estudio ecológico comparativo de la entomofauna de un bosque alto andino y un páramo en la Región de Monserrate. Bogotá, 1980. 87 p. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad Nacional de Colombia.

⁵⁶ FAJARDO, G. y PRINCE, C. Ciclo biológico y algunos aspectos ecológicos de las lombrices de tierra en dos suelos de la Sabana de Bogotá. Bogotá, 1976, 77 p. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad Nacional de Colombia.

⁵⁷ CHAMORRO, C. y CORTES, L. Influencia del medio edáfico en la población de lombriz de tierra en la Sabana de Bogotá. En Boletín Departamento de Biología Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia Vol. 1 No. 4 (1982); 62 p.

⁵⁸ CHAMORRO, C. y CORTES, L. Características físico – químicas y la población de lombrices en el transecto altitudinal del páramo de Chisacá, Cundinamarca (Colombia). Suelos Ecuatoriales Vol 13 No 1 (1984), 300 p.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se realizó en predios que pertenecen a la Orden Hospitalaria de San Juan de Dios, localizados en la vereda La Josefina, corregimiento de Morasurco, entre los kilómetros 14 y 15 en la vía que comunica al municipio de Pasto con el municipio de Chachagüi, entre los 1800 y 2600 msnm.

Benavides y Gómez ⁵⁹ mencionan que el área de estudio se clasifica según la clasificación de zonas de vida de Holdridge, como bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB). Según el IDEAM (1998)⁶⁰, la temperatura fluctúa entre 10 y 16°C, la humedad relativa entre el 73% y el 83% y la precipitación pluvial entre 2000 y 4000 mm por año.

Para el desarrollo de la investigación se seleccionaron tres formaciones forestales: un reducto de bosque de roble *Quercus humboldtii*, una sucesión natural (rastrojo) y un área dedicada a la explotación de pino *Pinus patula* Schlench et Cham, buscando la mayor cercanía entre ellos.

2.2 CARACTERIZACIÓN EDAFOLÓGICA

2.2.1 Muestreo. El procedimiento para la toma de muestras de suelo correspondió al seguido por el Tropical Soil Biology and Fertility Programme ⁶¹ para la evaluación de la macrofauna del suelo. Se tomaron muestras en las tres formaciones forestales mencionadas, en tres profundidades: 0 -10 cm, 10 – 20 cm y el mantillo cuando éste estuvo presente, durante 80 días con intervalos de ocho días para un total de 10 evaluaciones.

2.2.2 Características físicas del suelo. Para los análisis físicos se utilizó el suelo proveniente del estudio de la macrofauna del suelo (numeral 2.2.4). Se determinó: humedad gravimétrica y humedad higroscópica (evaluación del porcentaje de humedad)⁶²; humedad a capacidad de campo (método de las

⁵⁹ BENAVIDES, Orlando y GOMEZ, Oscar. Prediagnóstico de la cuenca media del río Pasto. San Juan de Pasto : CORPONARIÑO, 2001. 70 p.

⁶⁰ IDEAM, Citado por BENAVIDES, Orlando y GOMEZ, Oscar. Ibit., 70 p.

⁶¹ ANDERSON e INGRAM, Op.cit., 96 p.

⁶² IGAC. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá: IGAC, 1990. 502 p.

“columnas de Chapingo”)⁶³, densidad aparente (método del cilindro graduado), densidad real (método del picnómetro), porosidad total (relación entre la densidad aparente y la densidad real)⁶⁴, grado textural del suelo (método de Bouyoucos)⁶⁵.

2.2.3 Características químicas del suelo. Para la determinación de las propiedades químicas se utilizó el suelo proveniente del estudio de la macrofauna del suelo (numeral 2.2.4). Se determinó: la reacción del suelo (pH) (método potenciométrico relación suelo: agua 1:1), materia orgánica (método de Walkley y Black, colorimétrico)⁶⁶, capacidad de intercambio catiónico (método del formol)⁶⁷.

2.2.4 Características biológicas del suelo. Para la evaluación de la macrofauna del suelo se utilizó la metodología propuesta por Anderson e Ingram⁶⁸. En cada una de las formaciones forestales seleccionadas se trazó una línea recta y se definieron 10 sitios de muestreo separando cada uno de ellos ocho metros.

✍ **Estudio de la macrofauna del suelo.** La recolección de la fauna del suelo se realizó en forma manual y a simple vista. Para el efecto, primeramente, se removió la vegetación (mantillo) existente en un área de 25 cm x 25 cm, la cual se empacó en bolsas plásticas previamente roturadas y se llevó a los laboratorios de la Universidad de Nariño para extraer los macroinvertebrados presentes en el mantillo.

Posteriormente se aisló un monolito de 25 cm x 25 cm x 20 cm, separando el mismo en dos secciones de 10 cm, de los cuales en forma individual se extrajeron los invertebrados presentes. Para preservar las lombrices se utilizó formol al 5% y los otros invertebrados se preservaron en alcohol al 70%⁶⁹.

El suelo proveniente de cada una de las 10 evaluaciones se utilizó para la determinación de las propiedades físicas y químicas ya mencionadas.

⁶³ ARIAS, Antonio. Algunas propiedades físicas en dos suelos derivados de cenizas volcánicas por varios métodos y combinaciones de los mismos, en el municipio de Pasto, Nariño – Colombia. San Juan de Pasto, 1970, 54 p. Trabajo de grado (Profesor Asociado). Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola.

⁶⁴ GONZALEZ, Adel. Manual de laboratorio de suelos. Palmira : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1969. 150 p.

⁶⁵ CORTES, Francisco. y VIVEROS, Miguel. Manual de laboratorio de suelos. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1977. 108 p.

⁶⁶ CARRILLO, Ignacio y VINAZCO, César. Guía para el servicio regional de análisis de suelos. Colombia: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Subgerencia General Técnica. Programa de Agronomía 1990. 79 p.

⁶⁷ SALINAS, José y GARCIA, Ramiro. Métodos analíticos para suelos ácidos y plantas. Cali, Colombia: CIAT, Programa de Pastos Tropicales, 1979. 49 p.

⁶⁸ ANDERSON e INGRAM, Op.cit. 96 p..

⁶⁹ Ibid., p. 44-46.

Estudio de la macrofauna de la vegetación. Para la extracción de la macrofauna de la vegetación (mantillo), se utilizó el método de lavado tamizado descrito por Maran y Terron (1998)⁷⁰. Para ello se tomó la vegetación recolectada en el campo – estudio de la macrofauna del suelo- se depositó en un recipiente metálico, dividiéndolo en varias sub-muestras, cada una de las cuales se lavó con aproximadamente cinco litros de agua, una vez lavada se vertió el contenido a un tamiz con una malla de abertura de 4 mm² hacia otro recipiente con malla de abertura de 2 mm², con el propósito de separar los organismos más pequeños.

✍ **Variables estudiadas.** Con los datos obtenidos del estudio de la macrofauna, se determinó la abundancia por taxón y estrato (número de individuos m⁻²), la biomasa pesando la macrofauna por taxa (peso fresco gramos m⁻²), la distribución vertical, cuantificando y separando por estrato los invertebrados (número de individuos por estrato) y la diversidad mediante el índice de Shannon-Wiener, clasificando los organismos encontrados a nivel de orden y familia mediante claves taxonómicas⁷¹.

2.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para evaluar los resultados obtenidos se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas⁷². Los bloques correspondieron a los 10 muestreos realizados; en las parcelas principales se ubicaron las tres formaciones vegetales y en las sub – parcelas las profundidades de evaluación.

Para aquellas variables que presentaron diferencias estadísticas significativas se realizó la prueba de comparación de promedios de Tukey. Adicionalmente se establecieron correlaciones y regresiones entre las variables evaluadas.

⁷⁰ MARAN Y TERRON, citados por CORAL, Dilia, Op.cit., p. 20.

⁷¹ BORROR, F., TRIPLEHORN, C. and JOHNSON, N. 1989. An introduction to the study of insects. Philadelphia : Saunders College Publishing, 1989. 875 p.

⁷² GONZALEZ, Germán. Métodos estadísticos y principios de diseño experimental. 2 e.d. Quito : Universidad Central del Ecuador, 1976. 371 p.

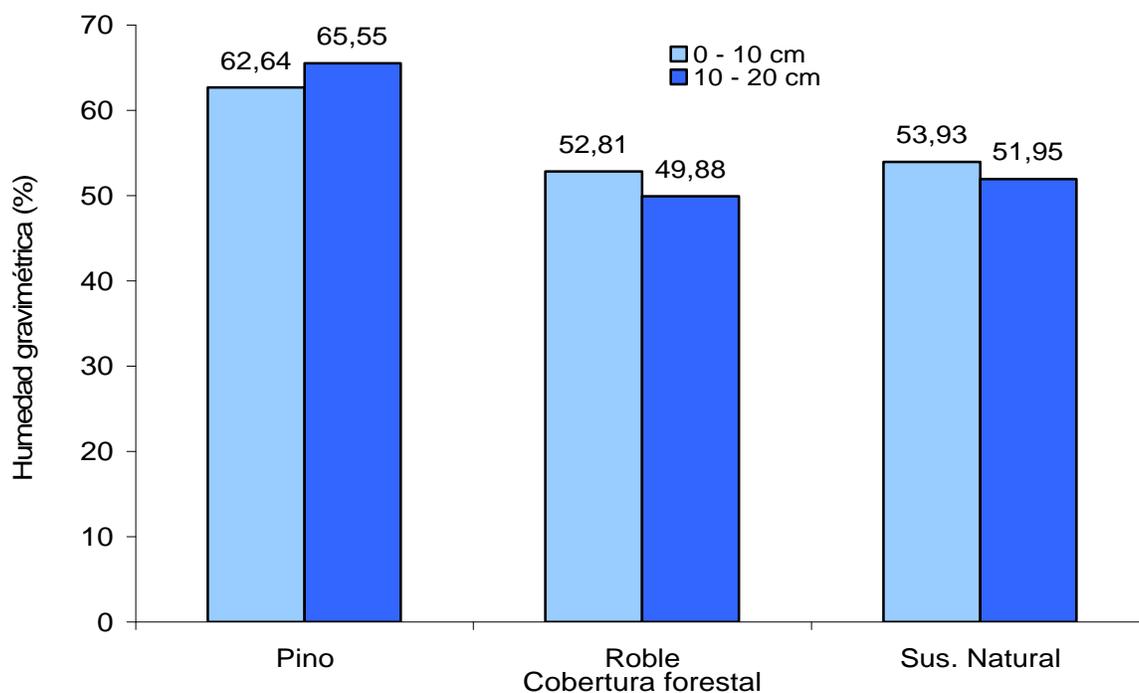
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS

3.1.1 Humedad gravimétrica. Según el análisis de varianza la humedad gravimétrica presentó diferencias estadísticas altamente significativas en el suelo de las formaciones forestales estudiadas, la profundidad de evaluación y su interacción (Cuadro 1).

En la Figura 1, se observa la interacción entre la humedad gravimétrica obtenida en el suelo de las diferentes formaciones forestales evaluadas y la profundidad de muestreo.

Figura 1. Humedad gravimétrica del suelo obtenida bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades



Fuente: Esta Investigación

Si se consideran las formaciones vegetales y la profundidad de muestreo, la mayor humedad gravimétrica se obtuvo bajo la cobertura de pino con 62,64 % para 0-10 cm y de 65,55% para 10 – 20 cm. Bajo la cobertura de roble y la sucesión natural se

Cuadro 1. Análisis de varianza para algunas características físicas obtenidas en el suelo bajo tres coberturas forestales

ANDEVA	CUADRADO MEDIO									
	Variable									
	G.L.	Humedad			Densidad		Porosidad	Arenas	Limos	Arcillas
		Gravimétrica	Higroscópica	Capacidad de campo	Aparente	Real				
	%	%	%	g/cc	g/cc	%	%	%	%	
Repetición	9	422,01 **	9,36 **	321,94 **	0,01 ns	0,27 ns	83,01 **	11,83 **	14,81 **	11,14 **
Cobertura	2	740,35 ^	11,29 **	561,97 **	0,01 ns	0,03 ns	27,80 **	5,28 *	3,61 *	16,93 **
Error (a)	18	140,51	4,19	197,87	0,05	0,03	19,41	4,50	16,53	15,95
Profundidad	1	41,70**	1,51 ns	439,23**	0,07 ns	0,01 ns	19,48 **	4,44 *	246,52 *	147,98 **
Interacción	2	10,47 **	0,76 ns	29,32 **	0,01 ns	0,02 ns	5,59 **	4,62 *	14,12 **	3,56 *
Error (b)	27	19,39	1,09	48,83	0,01	0,03	21,32	1,59	7,03	6,59
Total	59									
C.V.		7,19	18,64	9,70	13,55	7,99	7,03	18,72	13,61	3,48

** Diferencias altamente significativas * Diferencias significativas ns No significativo

Fuente: Esta Investigación.

obtuvieron valores por encima del 52% para la primera profundidad y valores por debajo de éste valor para las muestras tomadas de 10 – 20 cm.

Eraso⁷³ encontró que la humedad gravimétrica presentaba valores menores a medida que se profundiza en el perfil del suelo (de 0 – 30 cm) y que ésta depende de la cobertura vegetal, presentándose los valores más bajos en suelos con vegetación de pinos en relación con la cobertura de eucaliptos.

Los valores encontrados en ésta investigación, están correlacionados inversamente con la densidad aparente ($r = -0,49$) en los suelos cultivados con pino; para los suelos bajo rastrojo, la humedad gravimétrica correlacionó directamente con la humedad a capacidad de campo ($r = 0,44$) y el contenido de materia orgánica ($r = 0,53$) e inversamente con la densidad real ($r = -0,60$) y la porosidad ($r = -0,47$) (Anexo A).

Según Valenzuela et al.,⁷⁴ la diferencia en la humedad podría estar determinada además de los factores mencionados por el tipo de vegetación presente, principalmente en la sucesión natural (Anexo B), que presenta los menores contenidos de humedad ya que según lo manifiestan Sadeghian et al.,⁷⁵ y Amézquita⁷⁶ el tipo de cobertura influye en la retención y movimiento del agua en el suelo.

Valenzuela et al.,⁷⁷ encontraron que la capacidad para retener humedad, disminuye como consecuencia del aumento en la densidad aparente.

De otra parte, Unigarro⁷⁸ menciona que la humedad gravimétrica es más alta para los 5 primeros centímetros de profundidad en el perfil, relacionando ésta situación con los contenidos de alófana de los suelos estudiados, la cual le confiere a éstos una alta capacidad de retención de humedad. Además encontró para la zona cubierta con praderas naturales una correlación negativa de la humedad gravimétrica con el espacio aéreo ($r = -0,81$) y en la zona de pajonales positiva con la materia orgánica ($r = 0,68$).

⁷³ ERASO, Op.cit., p. 29, 31.

⁷⁴ VALENZUELA, I., PEREA, G. y AMEZQUITA, E. Evaluación del agua gravitacional a través del perfil de un suelo de la altillanura. Suelos Ecuatoriales Vol. 31 No. 2 (2001), 300 p.

⁷⁵ SADEGHIAN, S., OROZCO, O. y MURGUEITO, E., Op.cit., 300 p.

⁷⁶ AMEZQUITA, Edgar. 1994. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. Fertilidad de suelos, SCCS, Bogotá, 1994. 154 p.

⁷⁷ VALENZUELA, I., PEREA, G. y AMEZQUITA, E., Op.cit., 300 p.

⁷⁸ UNIGARRO, Alberto., Op.cit., 148 p.

Coral et. al.,⁷⁹ mencionan que las labores de preparación del suelo, la cobertura vegetal y las propiedades físicas del suelo influyen en la transmisión y almacenamiento de agua, estadísticamente encontraron una correlación directa de la humedad gravimétrica con el contenido de materia orgánica ($r = 0,95$), la porosidad ($r = 0,97$) y la proporción de limos ($r = 0,93$) e inversa con la densidad aparente ($r = - 0,99$), real ($r = - 0,86$) y la proporción de arcillas ($r = - 0,76$) y arenas ($r = - 0,81$).

3.1.2 Humedad higroscópica. El análisis de varianza para la humedad higroscópica, presentó diferencias estadísticas altamente significativas en el suelo de las formaciones forestales evaluadas, no así para la profundidad de evaluación o su interacción (Cuadro 1).

Al realizar la prueba de comparación de promedios de Tukey (Anexo C) la humedad higroscópica obtenida en suelos bajo cobertura de roble con un promedio de 4,7% presentaron diferencias estadísticas significativas con el valor obtenido en los suelos con coberturas de pino y la sucesión natural con valores promedios de 6,2% y 5,8%, respectivamente, entre éstos últimos, no se presentaron diferencias estadísticas significativas.

Los resultados parecen estar ligados con los agregados del suelo (textura) tal como lo manifiestan Coral et al.,⁸⁰ quienes encontraron una correlación positiva de la humedad higroscópica con la proporción de limos ($r = 0,90$) e inversa con la proporción de arenas ($r = - 0,79$) y arcillas ($r = - 0,74$), aunque en el presente estudio no se presentaron correlaciones estadísticas significativas con éstas variables (Anexo A).

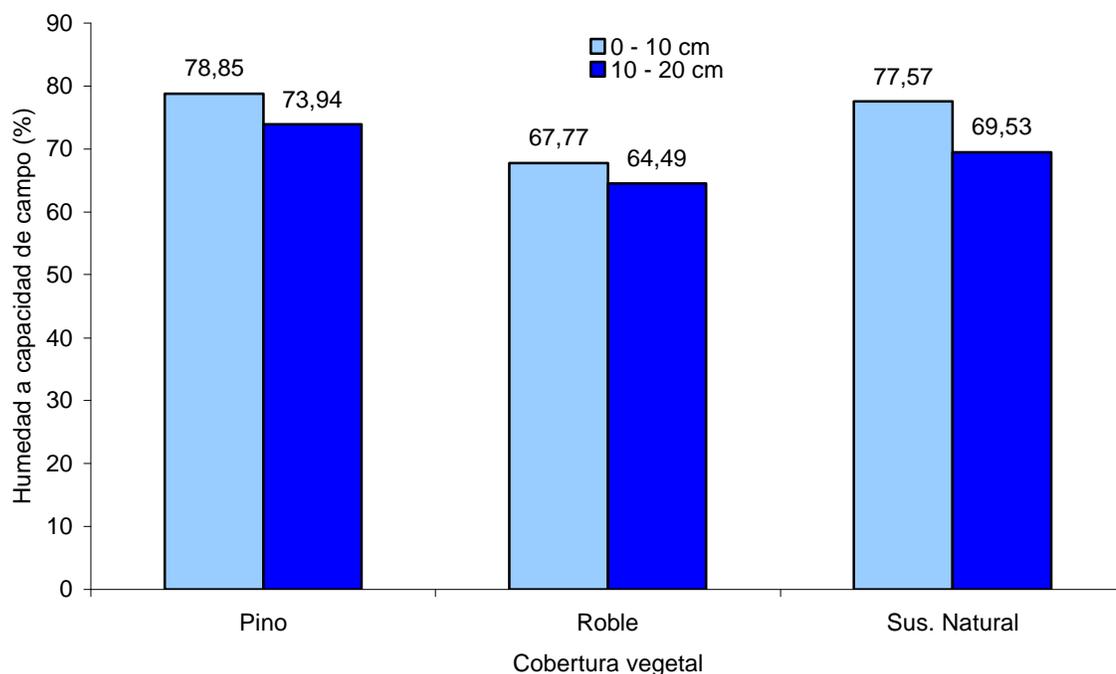
3.1.3 Humedad a capacidad de campo. Según el análisis de varianza (Cuadro 1), la humedad a capacidad de campo presentó diferencias estadísticas en el suelo de las formaciones forestales estudiadas, la profundidad de evaluación y en su interacción.

En la Figura 2 se observa la interacción entre la humedad a capacidad de campo obtenida en el suelo de las diferentes formaciones forestales evaluadas y las profundidades de muestreo. Los suelos bajo cobertura de pino presentaron una retención de humedad a capacidad de campo del 78,85 % de 0-10 cm y del 73,94% de 10 – 20 cm de profundidad; bajo cobertura de rastrojo la retención fue de 77,57% de 0-10 cm y de 69,53% de 10-20 cm, y bajo cobertura de roble para la primera capa fue de 67,77% y para la segunda profundidad de 64,49%.

⁷⁹ CORAL, et. al., Op. cit., 118 p.

⁸⁰ Ibid., p. 38 – 40.

Figura 2. Humedad del suelo a capacidad de campo obtenida bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades



Fuente: Esta Investigación

Los resultados indican que la retención de humedad además de ser función de la cobertura vegetal, esta correlacionada estadísticamente para la cobertura de rastrojo con el contenido de arcillas ($r = - 0,52$) y el contenido de materia orgánica ($r = 0,90$) (Anexo A).

Al respecto Pla⁸¹ manifiesta que la retención de humedad esta relacionada directamente con el contenido de materia orgánica de los suelos y varía con el estado de descomposición de la misma y es función, además, del contenido de la arcilla presente.

Coral et al.⁸², manifiestan que esta variable correlaciona con el contenido de materia orgánica ($r = 0,97$), limos ($r = 0,96$) y porosidad ($r = 0,94$) y que presenta una correlación inversa con la densidad aparente ($r = - 0,98$), densidad real ($r = - 0,86$), arcillas ($r = - 0,81$) y arenas ($r = - 0,81$), lo cual atribuyen al diferente uso y manejo del

⁸¹ PLA, Idelfonso. La materia orgánica y la degradación y la erosión de suelos en el trópico. En: EL COMPONENTE BIORGÁNICO DEL SUELO. (8º : Bucaramanga : 1994). En Memorias del VIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga: SCCS, 1994. 137 p.

⁸² CORAL, et. al., Op.cit., 118 p.

suelo en el cual por el efecto de labranza se ha sacrificado parte del volumen de mesoporos.

3.1.4 Densidad aparente. Al realizar el análisis de varianza para la densidad aparente del suelo evaluada en las tres formaciones forestales y entre los 0 – 20 cm de profundidad en el perfil del suelo, no se presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 1).

En general, los valores para los primeros 10 – 20 cm fluctuaron entre 0,63 g/cc y 0,70 g/cc y para los 10 – 20 cm entre 0,72 g/cc y 0,77 g/cc, lo cual indica un ligero adensamiento de los suelos debido al efecto que ejercen las capas superiores sobre las inferiores. Además, los resultados encontrados parecen estar asociados con el estado estructural del suelo y gobernados por el grado de agregación originado por la materia orgánica, ya que estadísticamente para la cobertura de pino, la densidad aparente se correlaciona inversamente con el contenido de materia orgánica ($r = - 0,64$), lo mismo que para la cobertura de roble ($r = - 0,68$) (Anexo 1), lo cual indica que la disminución en el contenido de materia orgánica tiene como consecuencia un aumento en la densidad aparente de éstos suelos.

Eraso⁸³ encontró que bajo cobertura de pinos y eucaliptos, la densidad aparente tiende a presentar valores más altos a medida que se profundiza en el perfil del suelo, presentándose en general, valores más altos en los suelos bajo cobertura de pinos.

Pinzón (2003)⁸⁴ manifiesta que es difícil establecer valores óptimos de densidad aparente para todos los suelos y para todos los cultivos, evidencias empíricas manifiestan que bajas densidades traen consigo un rápido secado del suelo y déficit de agua para las plantas y por el contrario, densidades aparentes altas causan pobre aireación y alta resistencia mecánica del suelo a la penetración de raíces.

Coral et al.,⁸⁵ encontraron que la densidad aparente del suelo correlaciona con el contenido de arcillas ($r = 0,76$), limos ($r = - 0,93$), arenas ($r = 0,82$) y la materia orgánica ($r = - 0,94$), manifestando que ésta variable depende del uso que se le da al suelo (relacionadas con las prácticas de manejo) y de la mineralogía y química de los suelos estudiados.

Unigarro⁸⁶ manifiesta que en suelos con densidad aparente entre 0,55 y 0,79 Mg m⁻³, esta variable está asociada con el grado estructural de los suelos y

⁸³ ERASO, Hernán. Op. cit., 100 p.

⁸⁴ PINZON, citado por UNIGARRO, Alberto. Op. cit. 148 p.

⁸⁵ CORAL, et. al., Op. cit., 118 p.

⁸⁶ UNIGARRO, Alberto. Op. cit., 148 p.

gobernados por la influencia de la materia orgánica ya que estadísticamente presentan una correlación inversa con el contenido de ésta.

3.1.5 Densidad real. El análisis de varianza realizado para la densidad real del suelo evaluada en las tres formaciones forestales y entre los 0 – 20 cm de profundidad en el perfil del suelo, no presentó diferencias estadísticas significativas (Cuadro 1).

En general para los primeros 0 – 10 cm la densidad real fluctuó entre 2,01 g/cc en el bosque de roble y 2,13 g/cc en la sucesión natural; para los 10 – 20 cm los valores fluctuaron entre 2,05 g/cc en el bosque de pino y 2,13 g/cc en el rastrojo.

Al respecto Unigarro⁸⁷ manifiesta que ésta variable presenta una variación espacial marcada y que depende principalmente de la densidad de los minerales primarios (arenas) que la componen.

Eraso⁸⁸ encontró que la densidad real se incrementa a medida que su evaluación se realiza a mayor profundidad en el perfil del suelo y que, en general, ésta es más alta bajo cobertura de pino en relación a la obtenida en plantaciones de eucaliptos

Bajo la cobertura de los suelos con roble se presentó una correlación inversa con el contenido de arenas ($r = - 0,58$). Bajo cobertura de rastrojo, se presentó una correlación significativa inversa con el contenido de materia orgánica ($r = -0,70$) (Anexo A).

Según Coral et. al.,⁸⁹ la densidad real depende de la mineralogía de los suelos como también del contenido de materia orgánica, lo cual se hace evidente por las correlaciones entre la densidad real y el contenido de arcillas ($r = 0,72$), limos ($r = - 0,84$), arenas ($r = 0,69$) y proporción de materia orgánica ($r = - 0,84$). Encontraron además que los valores de densidad real se incrementan con la profundidad lo cual atribuyen al incremento de compuestos minerales (arenas y arcillas) y disminución de materiales orgánicos.

3.1.6 Porosidad total. Según el análisis de varianza, la porosidad total presentó diferencias estadísticas altamente significativas en el suelo de las tres coberturas forestales estudiadas, para las dos profundidades de muestreo y para su interacción (Cuadro 1).

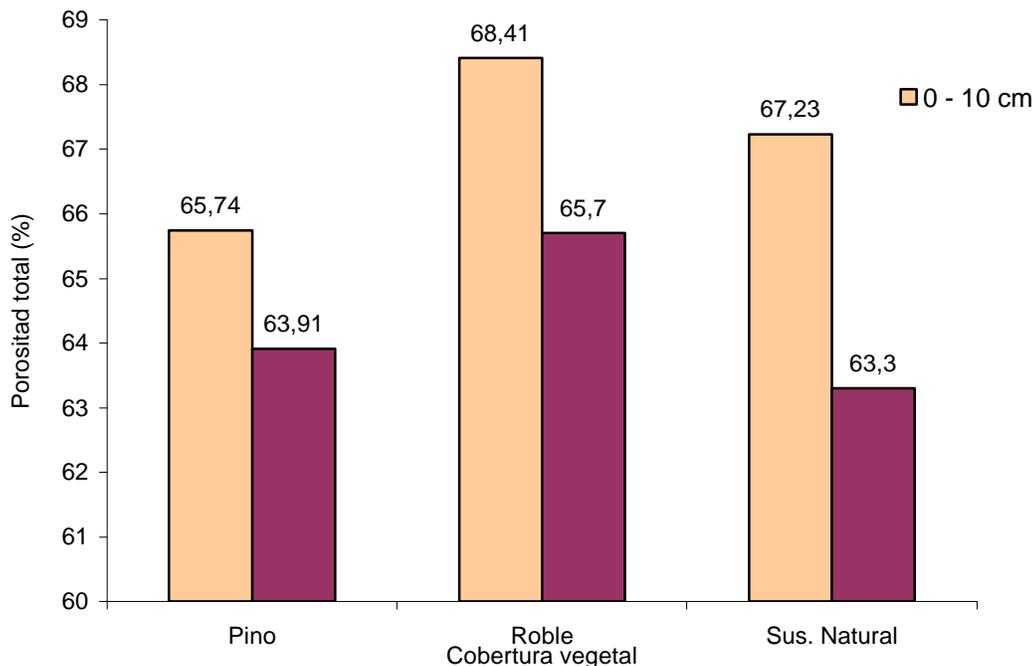
⁸⁷ UNIGARRO, Alberto. Op.cit., 148 p.

⁸⁸ ERAZO, Op.cit., 100 p.

⁸⁹ CORAL et. al., Op.cit., 70 p.

En la Figura 3 se muestra la interacción entre la porosidad total encontrada en cada una de las tres coberturas forestales evaluadas y para cada una de las profundidades de muestreo. En general, esta variable presenta valores más altos en las capas superiores del suelo para las tres coberturas forestales estudiadas, siendo un poco más altos los valores para la cobertura de roble con un valor del 68,41%, seguida de la obtenida en el rastrojo (67,23%) y la cobertura de pino con 65,74%.

Figura 3. Porosidad total del suelo obtenida bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades



Fuente: Esta Investigación.

Según Montenegro⁹⁰, los valores obtenidos para la porosidad total, se consideran altos.

El comportamiento encontrado está relacionado directamente con los contenidos de materia orgánica para los suelos bajo cobertura de pino ($r = 0,50$), roble ($r = 0,55$) e inversamente en el rastrojo ($r = - 0,48$) (Anexo A) la cual puede causar problemas cuando se secan estos suelos ya que son difíciles de humedecer debido a que las sustancias orgánicas que se adhieren a las superficies de partículas repelen el agua y a que los ángulos de contacto son grandes.

⁹⁰ MONTENEGRO, Hugo. Propiedades físicas de los suelos en relación con la fertilidad. En: Manejo integral de la fertilidad del suelo. Bogotá: SCCS, 2003. 112 p.

Eraso⁹¹ encontró bajo cobertura de pinos y de eucaliptos una porosidad superior al 58% la cual tiende a disminuir a medida que se profundiza en el perfil del suelo y ésta es más alta en los suelos plantados con eucalipto.

Unigarro⁹² encontró que la porosidad total se encuentra relacionada con el espacio aéreo ($r = 0,68$) y el contenido de materia orgánica ($r = 0,86$) de los suelos, indicando que para la creación de una capa para el desarrollo de las raíces, la porosidad total es un indicador de la salud del espacio vacío, es decir, meso, macro y micro porosidad, lo cual permite tener el ambiente para que haya difusión de gases, movimiento de agua, retención de humedad y para que ocurra elongación y crecimiento de raíces.

Coral et al.,⁹³ mencionan que el predominio de mesoporos es importante para que los suelos presenten una alta retención de humedad, lo cual esta relacionado por las correlaciones de la porosidad total con el contenido de materia orgánica ($r = 0,90$), limos ($r = 0,89$), densidad aparente ($r = - 0,99$), densidad real ($r = - 0,76$), arenas ($r = - 0,84$) y de arcillas ($r = -0,84$).

3.1.7 Grado textural del suelo. Todos los suelos estudiados presentan una textura arcillosa, lo cual les confiere a éstos características especiales relacionadas con la porosidad, el movimiento del agua, generalmente asociados (dependiendo de la precipitación pluvial) con condiciones de reducción y características de pegajosidad y plasticidad propias, las cuales van a depender del tipo de arcilla presente⁹⁴.

Según el IGAC⁹⁵ el predominio de la fracción arcilla se puede deber a arcillas heredadas de diferentes materiales parentales, cristalización de amorfos o neoformaciones de arcilla.

✍ **Porcentaje de arenas.** Al realizar el análisis de varianza (Cuadro 1), se presentaron diferencias estadísticas significativas para el contenido de arenas del suelo bajo las coberturas forestales, para la profundidad de evaluación y su interacción.

⁹¹ ERASO, Op.cit., 100 p.

⁹² UNIGARRO, Alberto. Op.cit., 148 p.

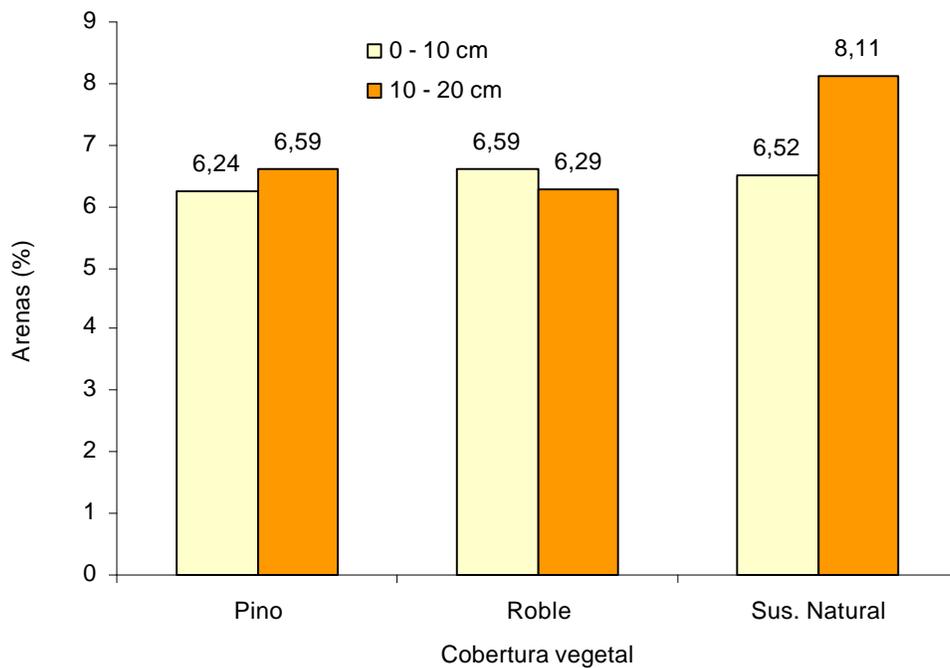
⁹³ CORAL, et. al., Op.cit., 118 p.

⁹⁴ HENRIQUEZ, Carlos y CABALCETA, Gilberto. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José de Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 1999. 109 p.

⁹⁵ IGAC. Estudio general de suelos del nororiente del departamento de Nariño. Bogotá: IGAC, 1986. 558 p.

En la Figura 4 se observa el comportamiento del contenido de arenas en el suelo de las tres coberturas forestales evaluadas y la profundidad de muestreo. En general, los contenidos de arenas se incrementan con la profundidad en el perfil del suelo, siendo más altas cuando el suelo presenta cobertura de rastrojo (8,11 %) y presentándose el menor valor bajo cobertura de roble (6,29%). Para la capa superficial (0 – 10 cm), los valores del porcentaje de arenas fueron más altos para los suelos con cobertura de pino (6,24 %), seguida de la obtenida bajo cobertura de roble (6,59 %) y el rastrojo (6,52 %).

Figura 4. Porcentaje de arenas del suelo obtenido bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades



Fuente: Esta Investigación

Se encontró que el contenido de arenas en los suelos bajo cobertura de pino correlaciona en forma inversa con el contenido de limos ($r = - 0,57$) y bajo la sucesión natural con el contenido de materia orgánica ($r = - 0,61$) (Anexo A).

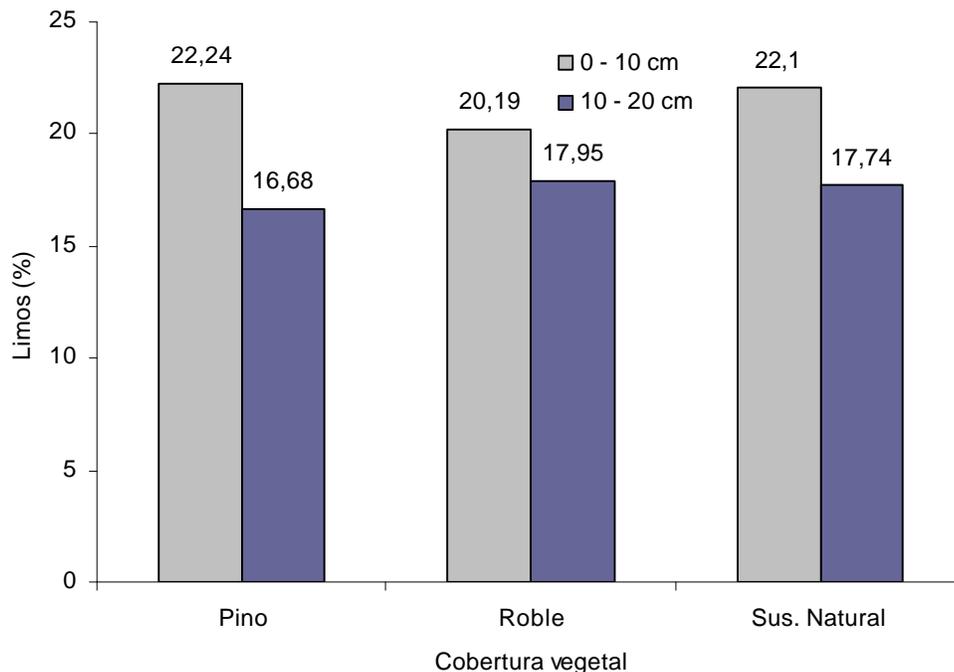
Según Coral et al.,⁹⁶ los resultados están relacionados con el grado de perturbación que han sufrido los suelos, ellos encontraron que ésta variable correlaciona en forma inversa con el contenido de materia orgánica ($r = - 0,71$).

⁹⁶ CORAL, et. al. Op.cit., 118 p.

✍ **Porcentaje de limos.** En el análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticas significativas para el porcentaje de limos del suelo en las coberturas forestales evaluadas y diferencias estadísticas altamente significativas para el porcentaje de limos a las profundidades evaluadas y la interacción cobertura por profundidad (Cuadro1).

En la Figura 5 se muestra el comportamiento del contenido de limos del suelo bajo las coberturas forestales estudiadas y su variación respecto a la profundidad de evaluación. En general, se encontraron valores más altos en la primera profundidad evaluada para los tres tipos de cobertura forestal. Los valores fluctuaron para la capa de 0-10 cm entre 22,25 % y 20,19% y para la segunda capa entre 16,68% y 17,95%.

Figura 5. Porcentaje de limos del suelo obtenido bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades



Fuente: Esta Investigación.

Al correlacionar el porcentaje de limos obtenido bajo cada una de las coberturas evaluadas, con las otras variables estudiadas, no se presentó significancia entre ellas (Anexo A).

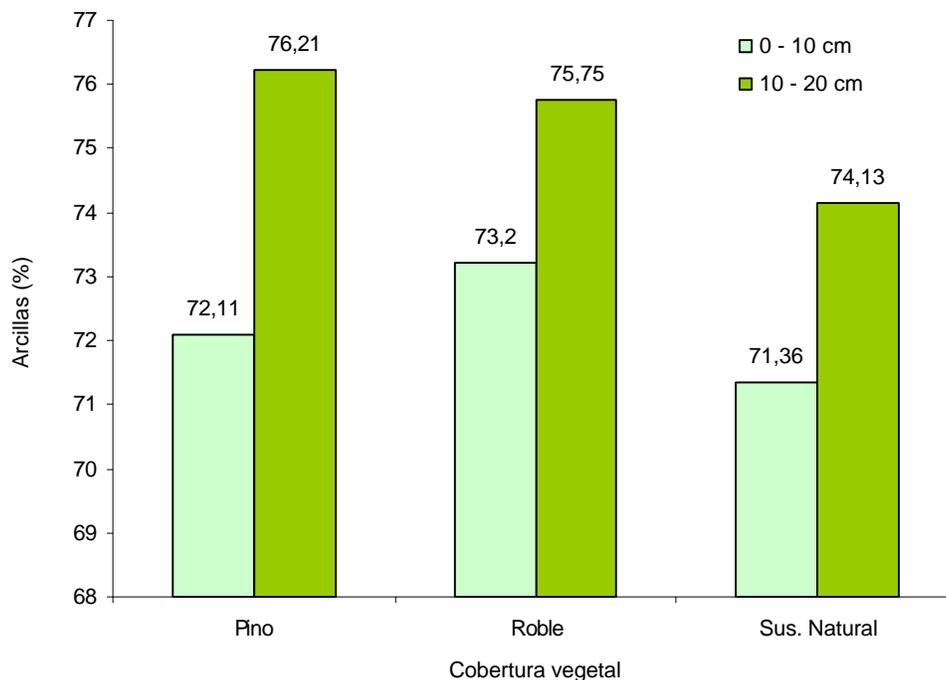
Coral et al.,⁹⁷ encontraron que esta variable correlaciona con el contenido de materia orgánica ($r = 0,98$), arcillas ($r = - 0,88$) y arenas ($r = - 0,78$).

⁹⁷ Ibid., p. 33.

✍ **Porcentaje de arcillas.** Según el análisis de varianza, se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas para el contenido de arcillas del suelo bajo las tres coberturas forestales evaluadas, para las dos profundidades evaluadas y diferencias estadísticas significativas para la interacción cobertura forestal por profundidad de muestreo.

En la Figura 6 se observa como cambia el porcentaje de arcillas en el suelo dependiendo de la cobertura vegetal y de la profundidad de evaluación. En general los contenidos son más altos de 10 – 20 cm, lo cual parece estar relacionado con la traslocación de arcilla que han sufrido estos suelos por las altas precipitaciones que se presentan en la zona de estudio, una situación similar reportan Coral et al.⁹⁸.

Figura 6. Porcentaje de arcillas del suelo obtenido bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades



Fuente: Esta Investigación.

Estadísticamente éste comportamiento está correlacionado con el contenido de limos ($r = -0,77$) bajo cobertura de pino, de roble ($r = -0,94$) y la sucesión natural ($r = -0,82$) (Anexo A).

⁹⁸ Ibid., p. 32.

De otra parte, los altos contenidos de arcilla presente en los suelos estudiados indican que éstos son altamente evolucionados.

Coral et al.,⁹⁹ encontraron que el contenido de arcillas además de correlacionar, al igual que en éste estudio, con el contenido de limos ($r = - 0,88$), correlaciona con el contenido de materia orgánica ($r = - 0,91$).

3.2 Características químicas del suelo

3.2.1 Reacción del suelo (pH). Al realizar el análisis de varianza para el pH obtenido en el suelo de tres coberturas forestales, a diferentes profundidades, no se presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2)

Cuadro 2. Análisis de varianza para algunas características químicas del suelo obtenidas bajo tres coberturas forestales

ANDEVA	CUADRADO MEDIO			
	Variable			
	G.L.	pH	Materia orgánica	Capacidad de intercambio catiónico
			%	meq/100g
Repetición	9	0,22 ns	22,35 **	237,02 **
Cobertura	2	0,34 ns	40,94 **	159,32 **
Error (a)	18	0,07	29,69	61,57
Profundidad	1	0,14 ns	97,05 **	132,37 **
Interacción	2	0,11 ns	8,44 **	1,62 ns
Error (b)	27	0,02	11,51	25,62
Total	59			
C.V.		2,78	17,64	12,87

ns No significativo **Diferencias altamente significativas

Fuente: Esta Investigación

Los valores de pH para la primera profundidad fluctuaron entre 4,3 y 4,7 y para 10 – 20 cm de 4,4 a 4,5, indicando que los valores son similares tanto para las coberturas vegetales como para las profundidades evaluadas.

Los valores obtenidos estadísticamente están correlacionados en los suelos bajo cobertura de pino con la humedad del suelo a capacidad de campo ($r = - 0,57$) y el contenido de limos ($r = 0,45$); bajo cobertura de roble están correlacionados con los agregados del suelo así: arcillas ($r = 0,54$), arenas ($r = - 0,48$) y limos ($r = - 0,43$) y para la sucesión natural con arcillas ($r = - 0,64$) y limos ($r = 0,50$) (Anexo A), lo cual muestra

⁹⁹ Ibid., p. 32

que para cada cobertura vegetal el pH depende del grado de evolución de los suelos determinada por los factores de formación del mismo.

Según Bohn et al.,¹⁰⁰ el pH de los suelos estudiados es muy ácido por lo que se afecta la dinámica de los elementos asociados a la fertilidad del medio al disminuir su solubilidad, debido a lo cual, se presenta una baja saturación de bases.

Eraso¹⁰¹ encontró que el pH de los suelos bajo cobertura de pinos y eucaliptos, es similar en el perfil del suelo, encontrando valores que fluctuaron para la capa superficial (0-10 cm) entre 5,6 y 5,7 y para 20 – 30 cm valores de 5,5 a 5,7.

Burbano et al.,¹⁰² encontraron una correlación del pH con la densidad aparente ($r = 0,74$) y la materia orgánica ($r = - 0,62$), condiciones que se atribuyen al contenido variable de materia orgánica y los cambios ocasionados en la misma por la intensidad de las labores de cultivo

Coral et al.,¹⁰³ manifiestan que el pH esta relacionado con la materia orgánica ($r = - 0,96$), como fuente de acidez de los suelos, en especial por la presencia de grupos carboxílicos y fenólicos que son fuente de acidez en los suelos. Manifiestan que como el contenido de materia orgánica en los suelos es variable, su contribución a la acidez también lo es.

Unigarro¹⁰⁴ encontró que el pH presenta variación espacial y que además se encuentra correlacionado con la porosidad ($r = 0,63$), el espacio aéreo ($r = - 0,69$), la densidad aparente ($r = 0,74$) y la materia orgánica ($r = - 0,62$), lo cual atribuye a las prácticas de manejo del suelo que inciden directamente sobre los contenidos de materia orgánica de los suelos y lavado de bases por la precipitación pluvial, a medida que aumenta con la altitud, dentro de ciertos límites, la cual causa depleción de las bases y produce su acumulación en horizontes inferiores.

3.2.2 Materia orgánica. Según el análisis de varianza, se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas para el contenido de materia orgánica del suelo en las tres coberturas forestales, para la profundidad de muestreo y su interacción (Cuadro 2).

¹⁰⁰ BOHN, Hinrich, McNEAL, Brian y O'CONNOR, George. Química del suelo. México : Limusa, 1993. 370 p.

¹⁰¹ ERAZO, Hernán. Op.cit., 100 p.

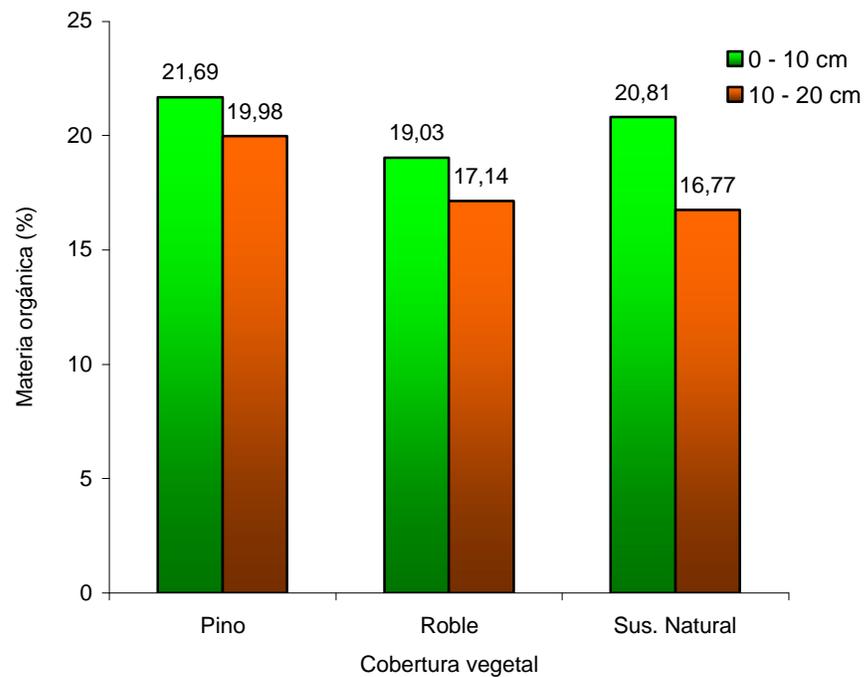
¹⁰² BURBANO, et. al., Op.cit., 368 p.

¹⁰³ CORAL, et. al., Op. Cit., 118 p.

¹⁰⁴ UNIGARRO, Alberto. Op.cit., 148 p.

El comportamiento de la materia orgánica del suelo bajo tres coberturas forestales y su variación dependiendo de la profundidad de muestreo se presenta en la Figura 7. En general, se encontraron valores más altos para los primeros 0 – 10 cm de profundidad los que fluctuaron entre 21,69% bajo cobertura de pinos y 19,03 % en roble. Para los 10 – 20 cm, los contenidos fluctuaron entre 19,98 % bajo cobertura de pino y 16,77 % bajo el rastrojo.

Figura 7. Contenido de materia orgánica del suelo obtenido bajo tres coberturas vegetales en dos profundidades



Fuente: Esta Investigación.

Eraso¹⁰⁵ bajo cobertura de pino encontró contenidos de materia orgánica que fluctuaron entre 22,1 % en los primeros 0 – 10 cm de profundidad en el perfil del suelo y 20,7% a los 20-30 cm. Para la cobertura con eucaliptos, los valores fluctuaron entre 29,9 % en la capa superficial y 19,4% en la capa más profunda evaluada.

Coral et al.,¹⁰⁶ consideran que el contenido de materia orgánica en el suelo esta condicionado a las labores de cultivo y con ello a la

¹⁰⁵ ERAZO, Hernán. Op.cit., 100 p.

¹⁰⁶ CORAL et. al., Op.cit., 118 p.

superficie de oxidación de la materia orgánica por incremento en la actividad biológica. Atribuyen su comportamiento a que la materia orgánica del suelo mejora las condiciones de humedad y aireación del suelo, mejora la infiltración y la manutención de una distribución de poros que permiten una buena retención de humedad aprovechable y drenaje del exceso de agua.

Guerrero et al.,(1975)¹⁰⁷, encontraron una disminución (pérdidas) comprendidas entre el 14,4% y 45,9% con el cambio de uso del suelo por deforestación a cultivo, sin embargo cuando el cambio fue de bosque a pradera, la pérdida solo fue de un 8,4%. De igual manera Guerrero et al (1979)¹⁰⁸, encontraron una pérdida significativa en el contenido de materia orgánica cuando se compara su contenido bajo cobertura de pradera y cultivo, siendo su magnitud mayor en suelos Andept (70 tn/ha) que en los Tropept (30 tn/ha).

3.2.3 Capacidad de intercambio catiónico. Al realizar el análisis de varianza (Cuadro 2), se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas para la capacidad de intercambio catiónica (CIC) del suelo en las tres coberturas forestales y para la profundidad de evaluación.

Al realizar la prueba de comparación de promedios de Tukey se encontró que la CIC obtenida en el suelo bajo cobertura de pino presentó la mayor CIC con un valor de 42,43 meq/100 g, la cual presentó diferencias estadísticas significativas con la CIC obtenida bajo cobertura de bosque de roble con 36,92 meq/100 g. Al realizar las demás comparaciones, no se presentaron otras diferencias estadísticas significativas (Anexo C).

La prueba de comparación de promedios de Tukey para la CIC evaluada a dos profundidades mostró diferencias estadísticas significativas entre la CIC obtenida en los primeros 0 – 10 cm con un valor promedio de 40,8 meq/100g respecto a la encontrada de 10 – 20 cm con un valor de 37,8 meq/100g (Anexo D).

Erazo¹⁰⁹ al comparar la CIC obtenida bajo cobertura de pino y eucaliptos, encontraron que los valores son similares, dependiendo del tipo de cobertura o la profundidad de evaluación, con valores que fluctuaron entre 46,6 meq/100 g y 55 meq/100 g.

¹⁰⁷ GUERRERO, et al., citados por CORAL, et al., Op. cit., 118 p.

¹⁰⁸ GUERRERO, et al., citados por CORAL, et al., Op. cit., 118 p.

¹⁰⁹ ERASO, Op.cit., 100 p.

Al realizar el análisis de correlación múltiple, para la cobertura de roble, se encontró una correlación significativa para la CIC con la densidad aparente ($r = -0,44$) y el contenido de materia orgánica ($r = 0,72$); para la cobertura de pino, con la densidad real ($r = 0,61$), porosidad ($r = 0,67$) y el contenido de materia orgánica ($r = 0,44$) y para la sucesión natural, únicamente con la densidad aparente ($r^2 = -0,53$) (Anexo A).

Coral et al.,¹¹⁰ manifiestan que la CIC esta relacionada con la presencia de materia orgánica en los suelos ya que ésta tiene la propiedad de desarrollar mucha carga negativa cuando se aumenta el pH. Ellos encontraron que la CIC correlacionaba directamente con el contenido de materia orgánica ($r = 0,96$) y limos ($r = 0,95$) e inversamente con el contenido de arcillas ($r = -0,84$), arenas ($r = -0,75$) y pH ($r = -0,93$).

Unigarro¹¹¹ manifiesta que la CIC esta relacionada directamente con el contenido de materia orgánica de los suelos y de que la fracción mineral este más o menos revestida de materia orgánica en algunos sitios. Manifiesta además que la variación en profundidad de ésta variable depende del grado de iluviación que puede ocurrir de la fracción activa del suelo que se dispersa mejor en el agua.

3.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DEL SUELO

3.3.1 Abundancia de la macrofauna del suelo. Según el análisis de varianza, se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas para la abundancia de la macrofauna obtenida en el suelo de las tres coberturas forestales estudiadas, para la profundidad de muestreo y su interacción (Cuadro 3).

En la sucesión natural (rastrojo), la mayor abundancia de la macrofauna asociada al suelo corresponde a la clase Insecta la cual representa el 52% del total de individuos (908 colectados), le sigue la Oligochaeta con 177 organismos (19,49%), la Arachnida 113 (12,44%); Chilópoda 81 (8,92%) y la Diplópoda con 65 individuos (7,15%).

Dentro de la clase Insecta el mayor aporte a la macrofauna lo realizan el orden Hymenóptera con 134 individuos (14,75%) y Coleóptera con 127 (13,98%), le siguen Hemíptera con 21 individuos (14,75%), Diplura con 92 (10,13%), y Díptera con 46 (5,06%) (Figura 8).

Bajo cobertura de pinos (*Pinus patula*), el mayor aporte a la macrofauna del suelo lo hace la clase Oligochaeta con 631 individuos (53,24%); seguido de la clase Insecta con 337 (28,44%), la Chilópoda con 77 (6,49%); Diplópoda con 5,82% (69

¹¹⁰ CORAL, et. al., Op.cit., 118 p.

¹¹¹ UNIGARRO, Alberto. Op.cit., 148 p.

especímenes); la Arachnida con 45 individuos que representa el 3,80% del total de los individuos colectados en esta cobertura forestal.

Cuadro 3. Análisis de varianza para algunas características biológicas del suelo obtenidas bajo tres coberturas forestales

ANDEVA	CUADRADO MEDIO			
	Variable			
	G.L.	Abundancia	Biomasa	Distribución vertical
		No. Individuos m ⁻²	g.p.f. m ⁻²	No. de individuos 0,0625 m ⁻²
Repetición	9	457037,70 **	106,68 **	1713,80 **
Cobertura	2	696702,50 **	62,20 **	2219,20 **
Error (a)	18	407990,94	103,68	1598,36
Profundidad	1	3411225,50 **	158,30 **	12499,20 **
Interacción	2	817532,55 **	62,27 **	3426,81 **
Error (b)	27	135395,60	55,22	562,18
Total	59			
C.V.		48,25	84,94	50,84

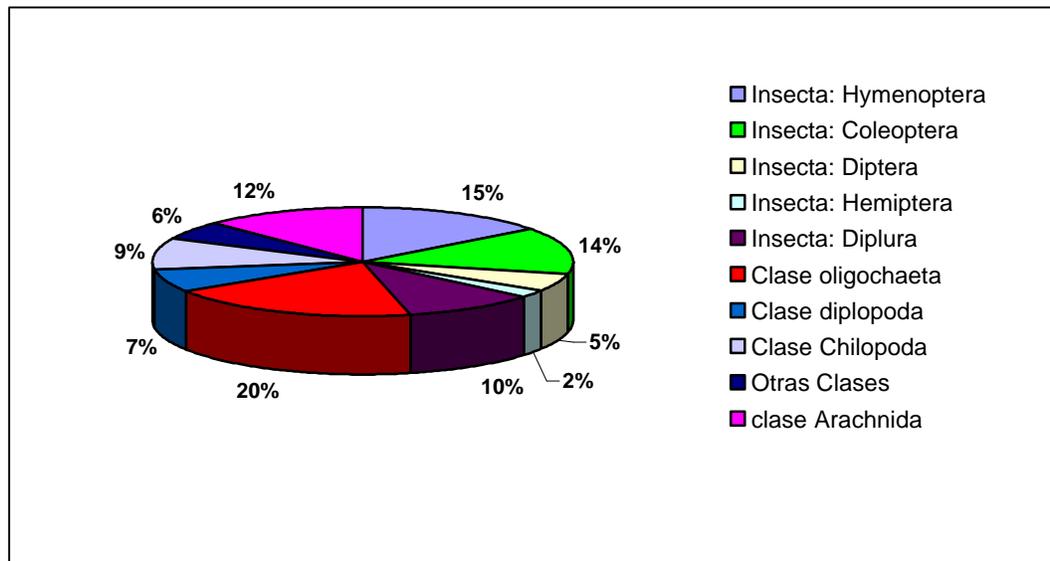
** Diferencias altamente significativas.

Fuente: Esta Investigación.

Dentro de la clase Insecta el mayor aporte lo realizan el orden Coleóptera con 179 individuos (15,11%) y Díptera con 106 (8,95%), le siguen en importancia el orden Diplura con 26 individuos (2,194%); Hemíptera 13 (1,097%); Hymenóptera 7, aportando con el 0,59% del total de los individuos colectados (480) bajo esta cobertura vegetal (Figura 9).

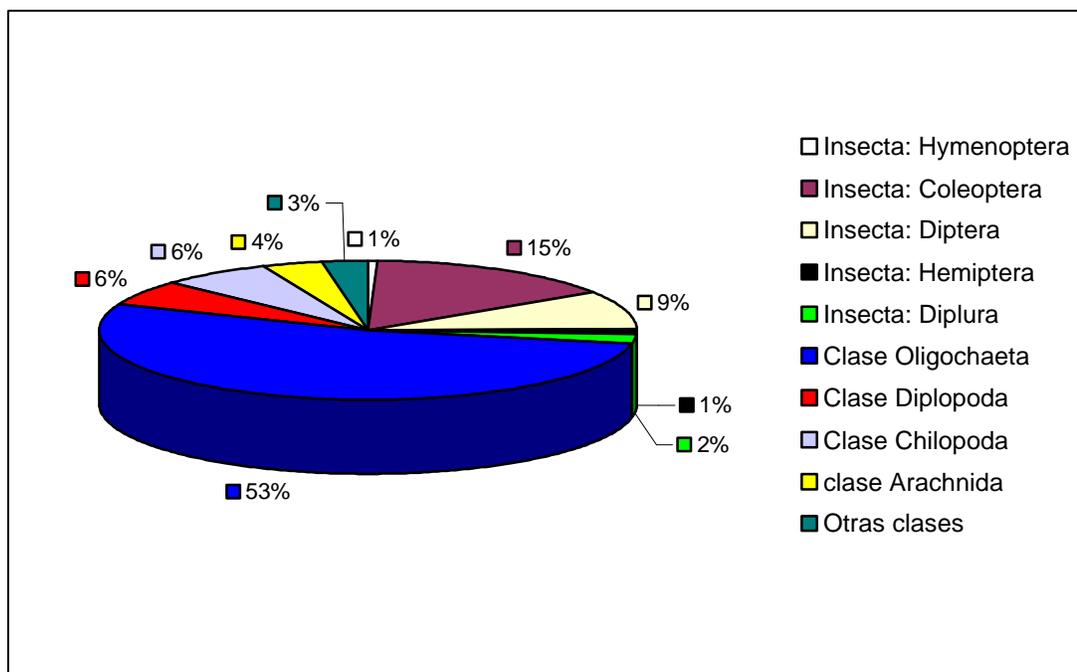
En el reducto de *Quercus. humboldtii*, (roble) la macrofauna asociada al suelo esta representada principalmente por la clase Insecta con 398 individuos (57,96%), le sigue el número de individuos aportados por la clase Chilópoda con el 22,41% (165 individuos), Arachnida con 86 (11,68%), Diplópoda 47 y, Oligochaeta con el 4,48% (33 individuos).

Figura 8. Abundancia (número de individuos m⁻²) de la macrofauna asociada al suelo bajo cobertura de rastrojo (sucesión natural)



Fuente: Esta Investigación.

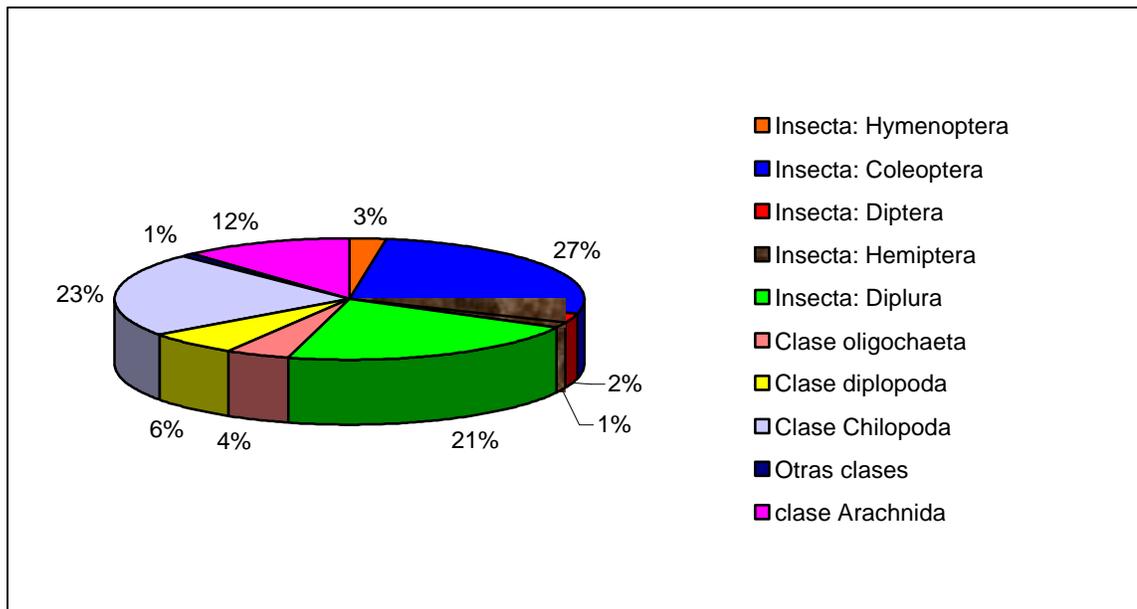
Figura 9. Abundancia (número de individuos m⁻²) de la macrofauna asociada al suelo bajo cobertura de Pino (*Pinus patula*)



Fuente: Esta Investigación

Dentro de la clase Insecta el mayor aporte de individuos lo realizan los órdenes Coleóptera con el 26,22% (193 individuos) y Diplura con 21,33% (157 individuos); le sigue el orden Hymenóptera con el 2,58% (19 individuos); Díptera 2,44% (18 individuos); Hemíptera con el 1,49% (11 organismos) del total de individuos (804) encontrados bajo esta cubierta forestal (Figura 10).

Figura 10. Abundancia (número de individuos m⁻²) de la macrofauna asociada al suelo bajo cobertura de roble (*Quercus humboldtii*).



Fuente: Esta Investigación

El mayor número de individuos bajo las tres coberturas forestales evaluadas, considerando además las dos profundidades estudiadas, durante diez evaluaciones, lo presentó el pino con 1185 individuos m⁻², seguido del obtenido bajo cobertura de la sucesión natural con 908 individuos m⁻², y el bosque de roble con 736 individuos m⁻². Las lombrices en las tres coberturas vegetales representan un porcentaje alto de la abundancia, una situación similar reporta Coral¹¹².

Al correlacionar los valores de abundancia de la macrofauna asociada al suelo con los parámetros físico-químicos evaluados, se encontró que para la sucesión natural correlaciona con la humedad gravimétrica (r = 0,63), la densidad real (r = - 0,44), la humedad a capacidad de campo (r = 0,50) y el contenido de materia orgánica (r = 0,58). Para la cobertura de pino la abundancia estuvo correlacionada con la

¹¹² CORAL, Dilia. Op.cit., 70 p.

proporción de arenas ($r = 0,43$) y limos ($r = - 0,46$). Para las condiciones de bosque de roble, la abundancia de la macrofauna del suelo, no correlacionó con los parámetros físicos y químicos de los suelos evaluados (Anexo A).

El análisis de los resultados muestra que tanto la presencia de los organismos del suelo como sus densidades poblacionales dependen, tanto de las características propias de cada ecosistema así como el tipo del recurso edáfico.

Burges y Raw¹¹³, afirman que la composición de las comunidades y su abundancia está influenciada por la localización geográfica, el clima, propiedades físicas y químicas del suelo, tipo de vegetación, naturaleza y profundidad de la materia orgánica y, el uso y manejo de este recurso.

Al evaluar el efecto del uso de la tierra en la zona cafetera del Quindío, Sadeghian et al.,¹¹⁴ encontraron individuos del orden Coleóptera, Diplópoda, Chilópoda, Oligochaeta, Aranae, Isópoda, Dermáptera, Díptera, Hemíptera y Pseudoscorpionida. Las hormigas representaron el 66 % del total de individuos; los Acaros, Collembola y Diplura participaron con el 21%. Los promedios más bajos se presentaron en el cultivo de yuca, probablemente por el volteo del suelo como consecuencia de la mecanización, al igual que en las ganaderías de tipo extensivo, debido básicamente a la degradación física de los suelos, ocasionada por la compactación. Además, afirman que las características del suelo y los sistemas de uso del mismo, influyen en la diversidad y abundancia de la mesofauna y macroorganismos, puesto que en los ambientes más complejos y con menor intervención antrópica, tales como los guaduales, se propicia la diversidad de los organismos en referencia, caso contrario se presentó en el esquema tecnificado de los cafetales y en los lugares en donde la transformación de los cafetales en sistemas ganaderos de modalidad intensiva, cultivos de cítricos y yuca afectan negativamente la diversidad de los organismos.

Eraso¹¹⁵ afirma que la alta abundancia de la macrofauna del suelo, de un tipo de uso del suelo, está asociada a las condiciones favorables de humedad y estabilidad estructural. Considera que generalmente en el mantillo (0-10 cm) del suelo, la hojarasca proporciona a la fauna edáfica condiciones para su supervivencia tales como protección a la exposición directa, humedad y materia orgánica en diferentes grados de descomposición. Encontró que el 34,62% de la abundancia (7456 ind.

¹¹³ BURGES, Alan y RAW, F. Biología del suelo. Barcelona: Omega, 1971. 596 p.

¹¹⁴ SADEGHIAN, S., OROZCO, O. y MURGUEITO, E. Op.cit., 300 p.

¹¹⁵ ERASO, Hernán. Op.cit., 100 p.

m⁻²) se encuentran bajo pradera, el 34,4% (7408 ind m⁻²) bajo cobertura de pino y el 30,98% (6672 ind m⁻²) bajo plantaciones de eucaliptos. La clase más abundante fue la Insecta, dentro de la cual los órdenes que más aportaron a la abundancia fueron Coleóptera (39,38%), himenóptera (10,1%) y Dermáptera (2,38%). Los miriápodos aportaron con el 12,04%, los arácnidos el 12,04% y los anélidos el 21,47%.

En los suelos bajo cobertura de pino la mayor abundancia estuvo asociada con la clase Insecta, donde el mayor aporte lo realizan los órdenes Coleóptera con 2608 ind. m⁻² (35,2%) conformado por seis familias, seguido por Thysanura con 192 ind. m⁻² (2,6%), Dermáptera y Díptera. La clase Arachnida aporta con el 16% (1232 ind. m⁻²) los miriápodos con 2208 (29,8%) y las lombrices con 1008 ind m⁻² (13,6%)¹¹⁶.

Coral¹¹⁷ encontró que la materia orgánica influía positivamente sobre la abundancia de la macrofauna de la selva secundaria y el cultivo de cebolla con 19120 y 11040 individuos m⁻², ya que ésta provee a los organismos de sombra, humedad y materiales en diferente grado de descomposición. Bajo condiciones de pradera se encontraron 5088 ind. m⁻², donde predominan las lombrices (89,62%) (*Magascolecidae* y *Lumbricidae*) por la profusión y renuevo de raíces que son favorables para su desarrollo. En la selva secundaria la macrofauna estuvo representada principalmente por Miriápodos y Coleópteros (19,91%), bajo cultivo de cebolla lombrices (45,99%), Miriápodos (31,15%) y coleópteros (17,97%). Encontró que el cambio en el uso del suelo de selva a pradera, ejerció un efecto negativo sobre la macrofauna del suelo al disminuir la riqueza de especies (37 y 10 unidades taxonómicas) y aumentar la abundancia de algunos grupos tales como gasterópodos capaces de adaptarse a las nuevas condiciones.

Al realizar el análisis de componentes principales, Coral¹¹⁸ encontró que dos factores explican el 56,75% de la varianza total. El factor I explica el 43,28%. Encontró que la abundancia de la macrofauna esta relacionada por la abundancia de Miriápodos, Coleópteros, en tanto que Gasterópodos e Isópodos, representan un efecto menor en la explicación del mismo, de igual manera, al factor II que explica el

¹¹⁶ Ibid., p. 39.

¹¹⁷ CORAL, Dilia. Op. cit., 70 p.

¹¹⁸ Ibid., p. 45-46

13,19% de la variación total contribuyen la abundancia de lombrices, Dípteros, Acaros y arañas.

Muñoz y Muñoz,¹¹⁹ encontraron en el transecto Pasto – Sandoná que la mayor abundancia se encontraba bajo cobertura de pradera (139,2 ind m⁻²), seguido de la obtenida bajo cobertura de eucaliptos (131,6 ind m⁻²) y cultivos (121,6 ind m⁻²).

Según González y López (1987)¹²⁰, en estudios de macrofauna de la hojarasca y del suelo en seis ecosistemas forestales de Cuba, en dos bosques latifolios encontraron que la abundancia de Coleóptera en el primer y segundo estrato fue semejante, la macrofauna habitó hasta 30 cm de profundidad así mismo ocurrió la mayor abundancia y diversidad de Formicidae y Arachnida. La mayor densidad de la macrofauna se encontró en el segundo estrato y se relacionó con la distribución vertical de las raíces.

Cortes, et al.,¹²¹ al estudiar los cambios en el suelo por implementación de praderas, confieras y eucaliptos en un área aledaña al embalse del Neusa (Cundinamarca), indican que la mayor abundancia de macroorganismos esta asociado al bosque nativo (45%) y la pradera (44%) y el 11% restante esta distribuido en el suelo que sustentan las especies exóticas. La macrofauna estuvo conformada por las clases Insecta, Arachnida, Miriápoda, Oligochaeta y Gasterópoda. La clase Insecta estuvo conformada por siete órdenes los que representan la mayor densidad y diversidad biológica.

3.3.2 Biomasa de la macrofauna del suelo. Al realizar el análisis de varianza, se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas para la biomasa de la macrofauna obtenida en el suelo de las tres coberturas forestales estudiadas, para la profundidad de muestreo y su interacción (Cuadro 3).

La biomasa total registrada en el ecosistema sucesión natural (rastrojo) presentó un peso de 9,58 g.p.f.m⁻² donde la clase Insecta aportó con el mayor peso, dentro de ésta el orden Coleóptera aportó con un peso de 2,97 g.p.f.m⁻² (31,01%), seguido por el orden Hemíptera 1,57 g.p.f.m⁻² (16,34%); Hymenóptera 0,93 g.p.f.m⁻² (9,70%), Diplura 0,05 g.p.f.m⁻² (0,48%) y Díptera 0,04 g.p.f.m⁻² (0,48%).

La clase Oligochaeta aportó con 2,04 g.p.f.m⁻² (21,30%), Chilópoda 0,35 g.p.f.m⁻² (3,6%), Diplópoda el 1,22% con un peso de 0,12 g.p.f.m⁻²; Arácnida 0,96 g.p.f.m⁻²

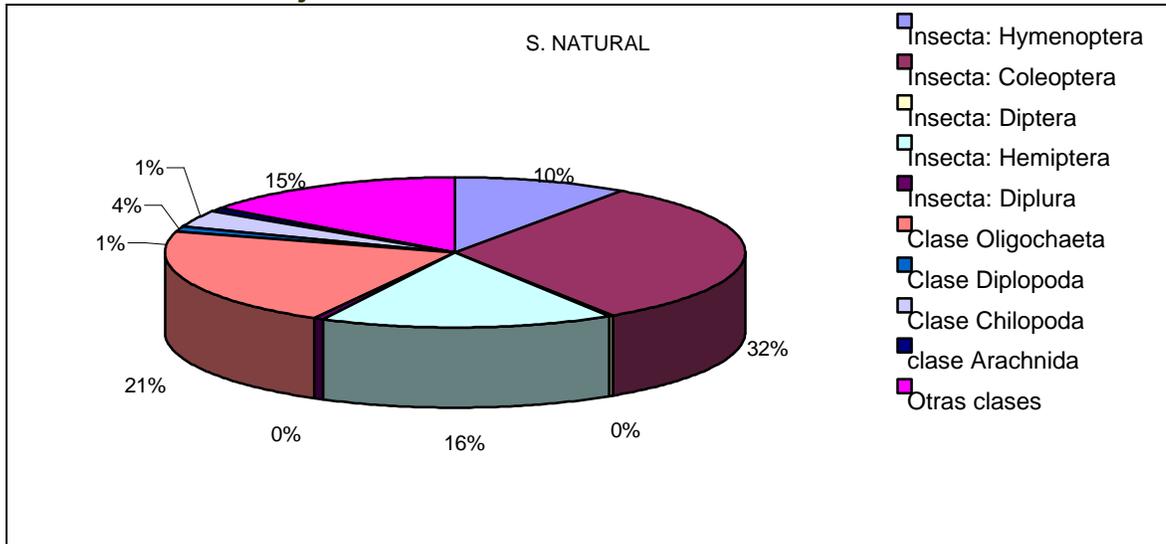
¹¹⁹ MUÑOZ y MUÑOZ, citados por ERAZO, Hernán. Op. cit., 100 p.

¹²⁰ GONZALEZ y LOPEZ, citados por CORAL, Dilia. Op. cit., 70 p.

¹²¹ CORTES, et. al., citados por ERAZO, Hernán. Op cit., 100 p

(1,01%); y otra clase de insectos constituyen el 14,85% con un peso de 1,4228 g.p.f.m.-2 (Figura 11).

Figura 11. Biomasa (g.p.f.m⁻²) de la macrofauna asociada al suelo bajo cobertura de rastrojo.

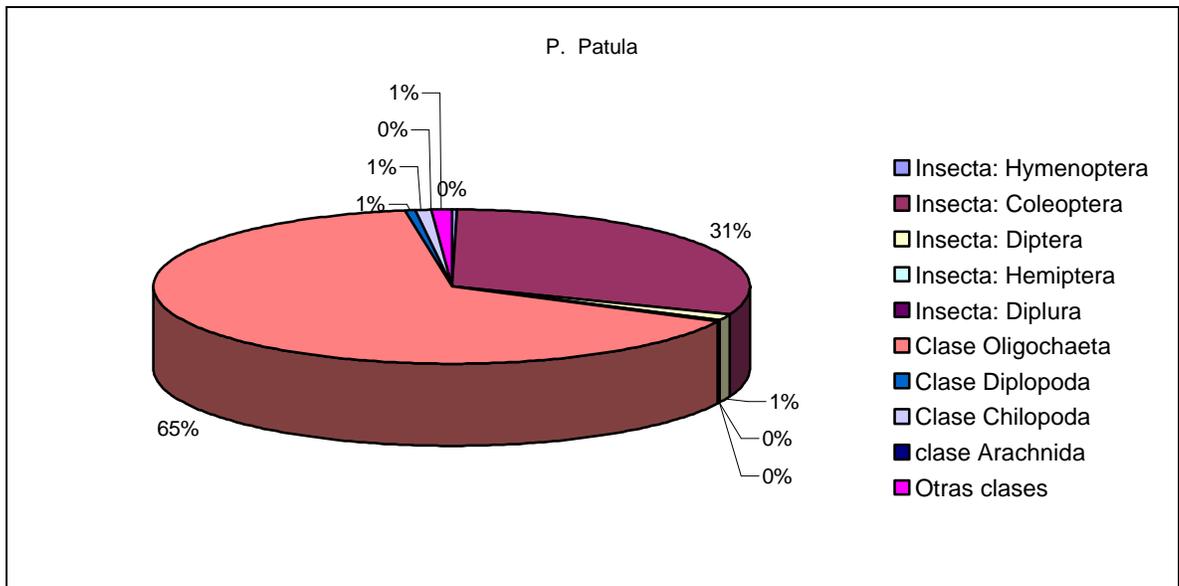


Fuente: Esta investigación

En la plantación de *P. patula*, se observó el mayor promedio de biomasa de las tres formaciones vegetales estudiadas con 12,33 g.p.f.m.². El mayor aporte a la biomasa lo realiza la clase Oligochaeta con 8,11 g.p.f.m.² (64,97%) seguido del aporte realizado por la clase Insecta donde los órdenes que más aportan a la biomasa son Coleóptera con 3,77 g.p.f.m.² (30,28%); Díptera 0,173 g.p.f.m.² (1,403%), Hemíptera con 0,02 g.p.f.m.² (0,14%); Diplura 0,01 g.p.f.m.² (0,10%); e Hymenóptera 0,02 g.p.f.m.² (0,019%); en menor proporción lo hacen la clase Diplópoda con 0,0893 g.p.f.m.² (0,72%), Chilópoda con 0,09 g.p.f.m.² (0,71%) y Arácnida que aportó el 0,21% con 0,03 g.p.f.m.². Otras clases registraron el 1,09% con 0,1344 g.p.f.m.² (Figura 12).

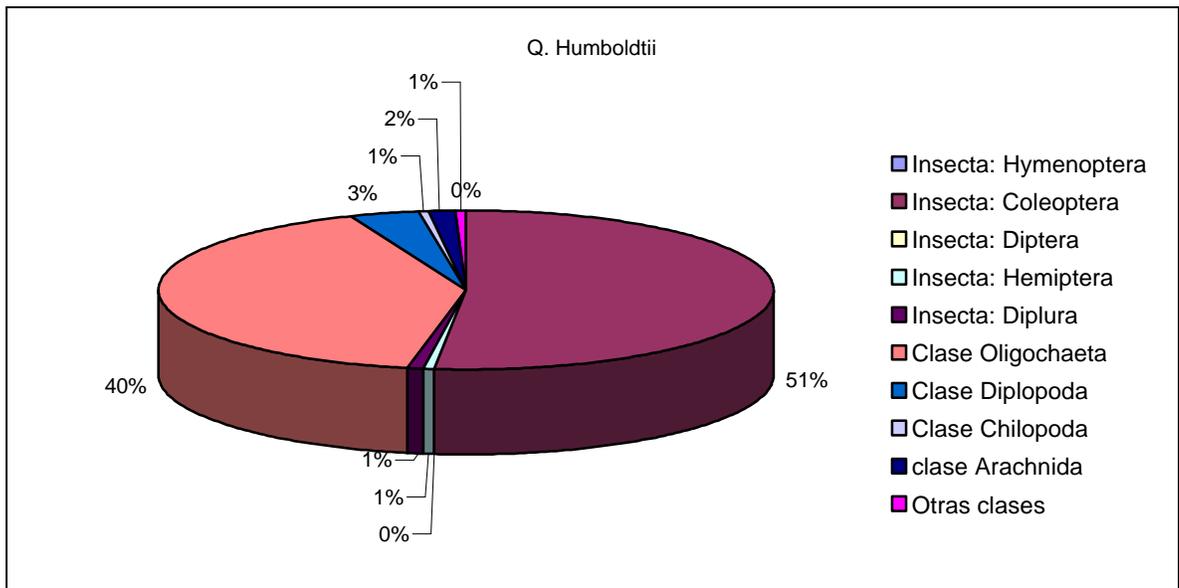
En la Figura 13 se puede observar que en la biomasa del reducto de roble, el mayor peso lo aporta la clase Insecta donde el mayor participación la realiza el orden Coleóptera con 4,096 g.p.f.m.² (49,11%), Diplura con 0,07 g.p.f.m.² (0,82%); Hemíptera 0,05% (0,01 g.p.f.m.²); Díptera 0,018 g.p.f.m.² (0,22%); en menor proporción lo realizan la clase Oligochaeta con 3,24 g.p.f.m.² (38,90%), Chilópoda con 0,43 g.p.f.m.² (5,14%); Diplópoda con 0,29 g.p.f.m.² (3,46%); seguido de la clase Arácnida con 0,13 g.p.f.m.² (1,5%). Otras clases suministraron el 0,56% con 0,05 g.p.f.m.².

Figura 12. Biomasa (g.p.f.m⁻²) de la macrofauna asociada al suelo bajo cobertura de pino.



Fuente: Esta Investigación

Figura 13. Biomasa (g.p.f.m⁻²) de la macrofauna asociada al suelo bajo cobertura de roble.



Fuente: Esta Investigación.

Al correlacionar los valores de la biomasa con los parámetros físico-químicos evaluados, para la sucesión natural se encontró que ésta correlacionaba significativamente con la humedad gravimétrica ($r = 0,50$), densidad real ($r = -0,48$), el contenido de materia orgánica ($r = 0,43$), la distribución vertical de la macrofauna ($r = 0,52$) y la abundancia ($r = 0,52$) (Anexo A).

De los tres ecosistemas evaluados, la plantación de pino presenta la mayor biomasa, posiblemente esto se deba a las óptimas condiciones del recurso edáfico, referente a sus propiedades físicas, que influyen en el suministro de humedad y afectan la accesibilidad de las raíces hacia los nutrientes disponibles y sus propiedades químicas como la materia orgánica.

Al respecto, Arenas¹²² menciona que la rápida descomposición foliar de las especies exóticas, satisface las necesidades alimenticias de algunos individuos edáficos, permitiendo de este modo una mayor presencia de los mismos representados en mayor tamaño y mayor peso.

Estos resultados indican que especies como el pino, se desempeñan mejor como exóticas que en su hábitat natural. El motivo para que haya mayor productividad, mejores condiciones de desarrollo, puede ser la ausencia de competidores, plagas y enfermedades naturales que a menudo habitan en los suelos del ecosistema donde evolucionan las especies¹²³.

De igual manera, Harold y Hocker¹²⁴ afirman que existe una asociación directa entre los diferentes grupos vegetales y animales del suelo forestal. Cada organismo se ve influido, a su vez por la actividad de los demás; sin embargo todos están afectados por las condiciones físicas y químicas de los suelos.

Eraso¹²⁵ encontró que bajo plantaciones de pino y eucaliptos, las lombrices son las más representativas con un aporte de 180,08 g.p.f.m⁻² (83,9%) y 179,61 g.p.f. m⁻² (71,7%). Manifiesta que los exudados radiculares influyen decididamente en el peso como en el tamaño de los organismos asociados a estos ecosistemas. Bajo cobertura de pino encontró los mayores valores promedios de biomasa (9,88 g.p.f. m⁻²)

¹²² ARENAS, Hernando. Descomposición de hojarasca en dos bosques altoandinos: un bosque nativo, *Weinmania tomentosa* y *Drymis granadiensis* y un bosque de *Eucalyptus globulus*. Bogotá : Suelos Ecuatoriales Vol. 18 No. 1 (1988), 300 p.

¹²³ DE LAS SALAS, Op.cit., 444 p.

¹²⁴ HAROLD y HOCKER, Op.cit., 534 p.

¹²⁵ ERASO, Hernán. Op.cit., 100 p.

entre los 0 – 20 cm de profundidad, los menores los presentó la hojarasca entre los 20 – 30 cm de profundidad.

Coral¹²⁶, encontró que en la selva secundaria la comunidad de miriápodos domina con 112,6 g.p.f. m⁻² seguido de coleópteros con 40,5 (18,71%), lombrices (8,43%), otros con una biomasa comprendida entre 6,2 y 4,2%. Encontró que la biomasa esta relacionada con la profundidad de 0 – 10 cm con 5,02 g. m⁻² presentó diferencias estadísticas significativas con los otros estratos evaluados, el mantillo con 2,47 g. m⁻², la profundidad de 10 – 20 cm con 1,64 g. m⁻² y la de 20 – 30 cm con 0,41 g. m⁻².

Al igual que en el presente trabajo, Coral¹²⁷ encontró que la biomasa aportada por las lombrices es importante relacionarla con el peso aportado por los otros artrópodos.

Coral¹²⁸ encontró que la proporción aportada por los valores propios permite establecer que con tres factores se explica el 59,76% de la variación total, al realizar el análisis de componentes principales. El factor I aporta un 31,48%, donde los principales aportes lo realizan la biomasa de miriápodos y arácnidos. El factor II explica un 17,87% y las variables que aportan mayor explicación a éste son biomasa de gasterópodos, ácaros, dípteros y coleópteros. El factor III aporta con el 10,41% la variable que más aporta es la biomasa de pseudoescorpiones.

3.3.3 Distribución vertical de la macrofauna del suelo. Según el análisis de varianza, se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas para la distribución vertical de la macrofauna obtenida en el suelo de las tres coberturas forestales estudiadas, para la profundidad de muestreo y su interacción (Cuadro 3).

En los primeros diez centímetros (0 – 10 cm) de profundidad de la sucesión natural, el mayor porcentaje de individuos lo registró la clase Insecta, donde el mayor aporte lo realiza el orden Hymenóptera (17,22%), donde la familia Formicidae representa el 16,81% (121 individuos) y la Ichneumonidae el 0,41% (3 individuos); el 14,16% está representado por el orden Coleóptera, donde la familia Scarabaeidae aporta el 5,84%, Elateridae 4,58%; Staphylinidae 1,38%, Carabidae 0,97%, Tenebrionidae 0,97% y Scydmaenidae el 0,42%. El orden Díptera aporta

¹²⁶ CORAL, Dilia. Op.cit., 70 p.

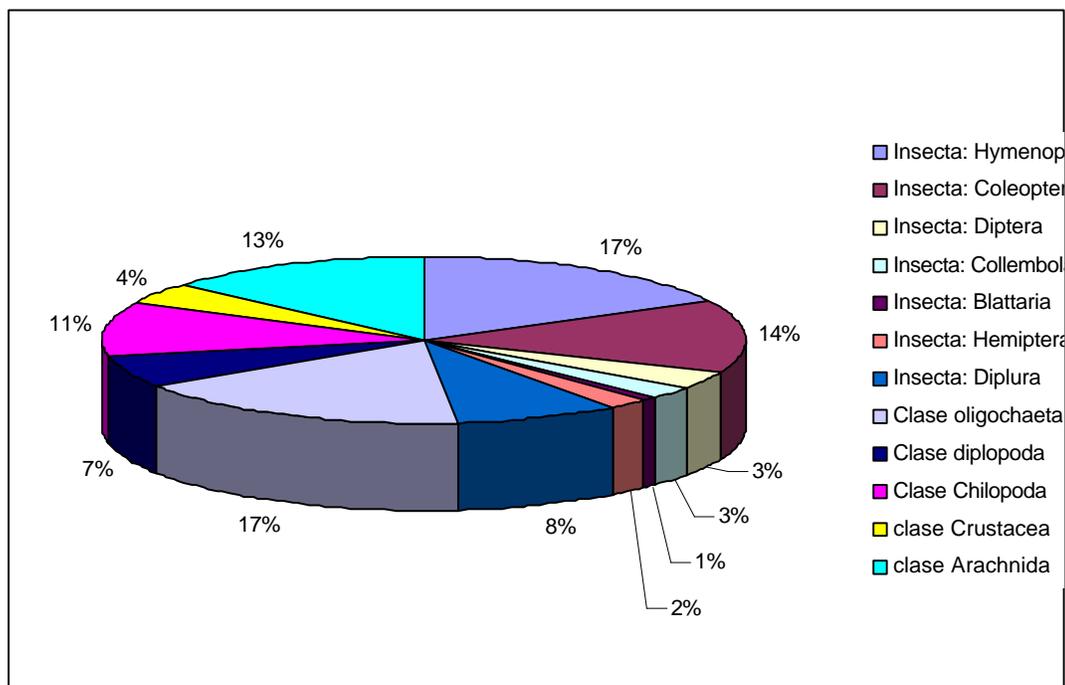
¹²⁷ Ibid., p. 34.

¹²⁸ Ibid., p. 48.

con el 3,33%, Collembola 2.50%, Hemíptera 2.08%, Diplura 8.19%, Blattaria 0.69%.

Le sigue el aporte realizado por la clase Oligochaeta con el 17,22% de especímenes (124 individuos por estrato); Arácnida con 97 individuos (13,47%); Chilópoda 10.55% y la clase Crustácea con el 4.02% (Figura 14).

Figura 14. Distribución vertical de la macrofauna asociada al suelo en los primeros 0 – 10 cm bajo cobertura de una sucesión natural



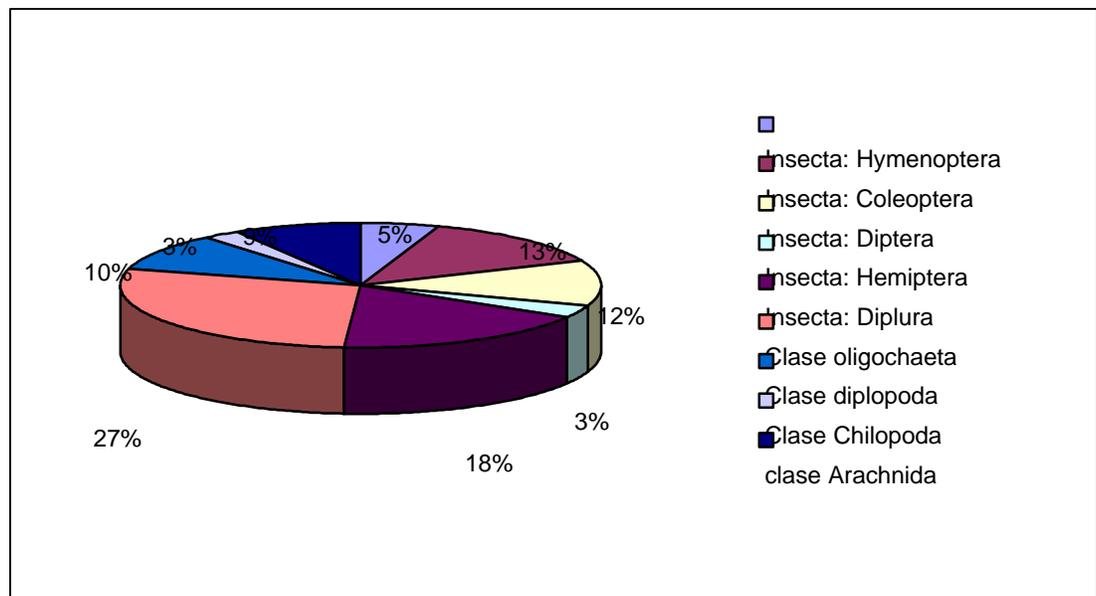
Fuente: Esta Investigación.

Entre los 10 -20 cm en la sucesión natural el mayor aporte de individuos por estrato correspondió a la clase Oligochaeta con 53 (28,19%), seguido del realizado por la clase Insecta dentro de la cual el mayor aporte lo realiza el orden Diplura con 17,55%, donde la familia Japygidae aporta el 4,25% (8 individuos por estrato) y la familia Campodidae el 13,29% (25 individuos), le sigue el orden Coleóptera con el 13,29%, donde la familia Scarabeidae aporta el 10,10% (19 individuos por estrato), seguida de la familia Elateridae con 1,59% (3 individuos), Tenebrionidae 1,06% (2 individuos) y Scydmaenidae 0,53% (1 individuo) le siguen el orden Díptera con 11.70%, Hymenóptera con 5.32% y Hemíptera con 3.19%. La Clase Diplópoda participa con el 9.57% y la Arácnida con el 8.51% (Figura 15).

En el reducto de roble entre los 0 – 10 cm de profundidad el mayor número de individuos por estrato corresponde a la clase Chilópoda con 149 (27.64%), donde

la familia Henicopidae aporta el 23% (124 individuos); el orden Scolopendromorpha 4,08% (22 individuos), Geophilomorpha 0,37% (2 individuos por estrato). Le siguen en importancia la clase Insecta donde el orden Diplura aporta con 125 individuos por estrato (23,19%), donde la familia Campodidae representa el 13,58% (72 individuos) y la familia Japygidae 10% (53 individuos); el orden Coleóptera 19,67% con las familias más representativas, Elateridae (larvas fitófagas) con 6,22% (33 individuos por estrato), Staphilinidae con 3,58% (19 individuos), Scarabaidae y Tenebrionidae con 2,83% cada una, (15 especimenes), en menores porcentajes Curculionidae y Scydmaenidae con 1,5% (8 insectos cada una) y Chysomelidae con 1.13% (6 individuos), el orden Hymenóptera 2,78% Díptera 2,23%, Collembolla 0,93% y Blattaria 0,74%. La clase Arachnida aporta con el 13,54% (73 especies / estrato), la Diplópoda 4,45% y la Oligochaeta con el 3,15% (Figura 16).

Figura 15. Distribución vertical de la macrofauna asociada al suelo entre los 10 - 20 cm bajo cobertura de una sucesión natural

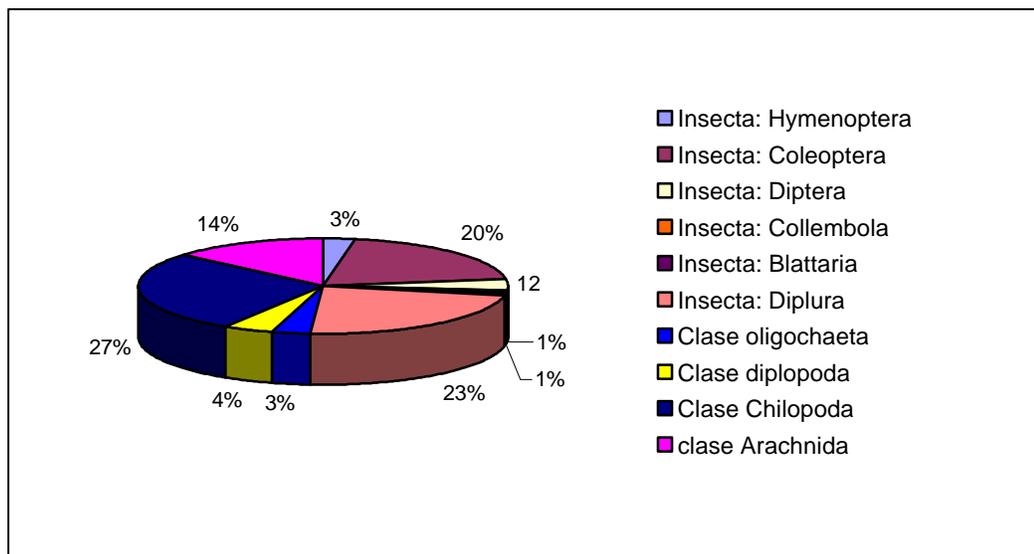


Fuente: Esta investigación

En la segunda profundidad (10-20 cm) de la cobertura de *Q. humboldtii*, el mayor aporte lo realiza la clase Insecta donde el orden Coleóptera aporta con 82 individuos (39,81%), donde la familia Elateridae representa el 17,47% (36 individuos por estrato), Scarabaeidae 12,62% (26 especimenes), Scydmaenidae 3,39% (7 insectos), Staphilinidae y Tenebrionidae 2,83% cada uno, (equivalente a 6 especies) y Chrysomellidae 0,48% (1 individuo). El orden Diplura aporta con el 15,53% (32 individuos) representados por las familias Japygidae 10,19% (21 individuos por estrato) y Campodidae 5,33% (11 individuos), el orden Hemíptera

5,33% (11 especies / estrato), Díptera 2,91% (6 individuos / estrato) e Hymenóptera 1,94% (4 muestras / estrato). La clase Diplópoda representa el 11,17%, donde el orden Glomérída representa el 5,82% (12 individuos por estrato), Julida 0,48% (7 individuos), Spirobólida 0,97 % (2 individuos) y Polydesmida 0,48% (1 individuo por estrato). La clase Oligochaeta y Chilópoda aportan el 7,77% cada una (16 individuos por estrato), Arachnida 6,31% (13 especímenes / estrato) y la Crustácea 1,41% (3 ejemplares / estrato) (Figura 17).

Figura 16. Distribución vertical de la macrofauna asociada al suelo entre los 0 - 10 cm bajo cobertura de roble (*Quercus humboldtii*)



Fuente: Esta Investigación

Para el efecto de distribución vertical en suelos bajo plantación de *P. Patula* a una profundidad de 0 – 10 cm, los datos obtenidos muestran un aporte de la clase Oligochaeta del 40.28%, la clase Insecta orden Coleóptera 13,94% (81 individuos), donde la familia Elateridae representa el 4,31% (25 individuos por estrato), la familia Scarabaeidae 4,14% (24 individuos), la Carabidae 2,41% (14 individuos); Staphilinidae 1,72% (10 individuos), Curculionidae 0,68% (4 individuos), Tenebrionidae 0,51% (3 individuos) y Scydmaenidae con 1 individuo el 0,17%. El orden Díptera 13,43%, Diplura 4,13% y en menor porcentaje el orden Dermáptera 1,38%, Hymenóptera 1,20%, Blattaria 1,20%, Hemíptera 2,24%, y Collembola 0,69%. La clase Diplópoda presentó un porcentaje de 9,64%, donde el orden Glomerida aporta el 7,83%, el Polydesmida el 0,48%, Spirobolida y Julida aportan el 0,16% cada uno con 1 individuo; le sigue la clase Chilópoda con el 9,29%, Arácnida con 7,75%, y la clase Crustácea con el 0,34% (Figura 18).

Figura 17. Distribución vertical de la macrofauna asociada al suelo entre los 10 – 20 cm bajo cobertura de roble (*Quercus humboldtii*)

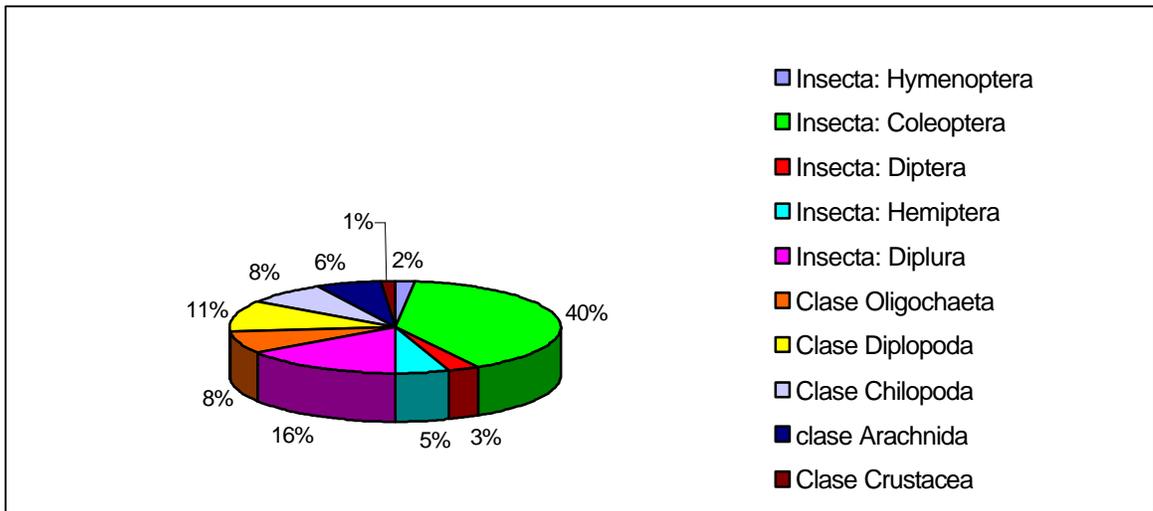
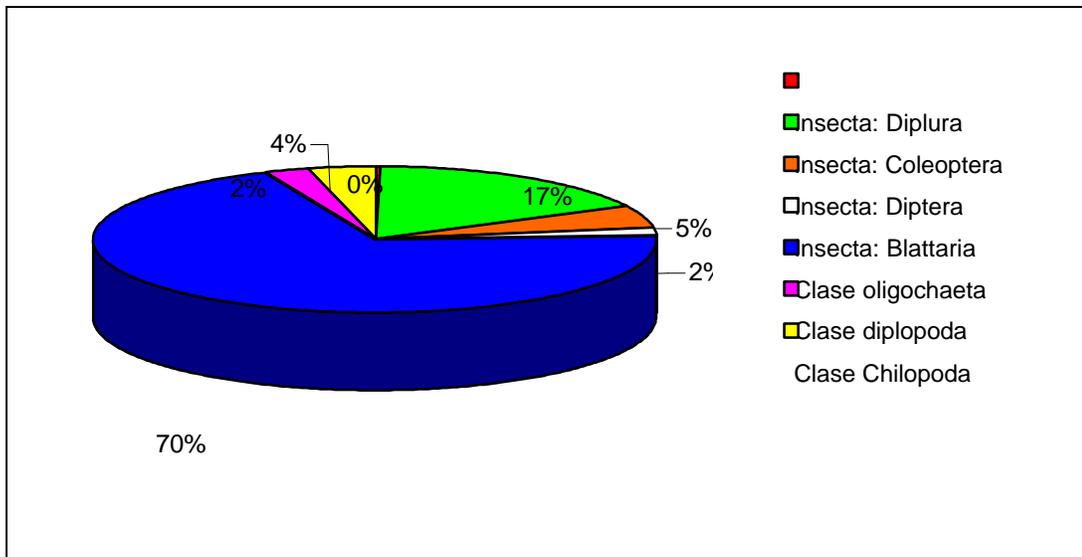


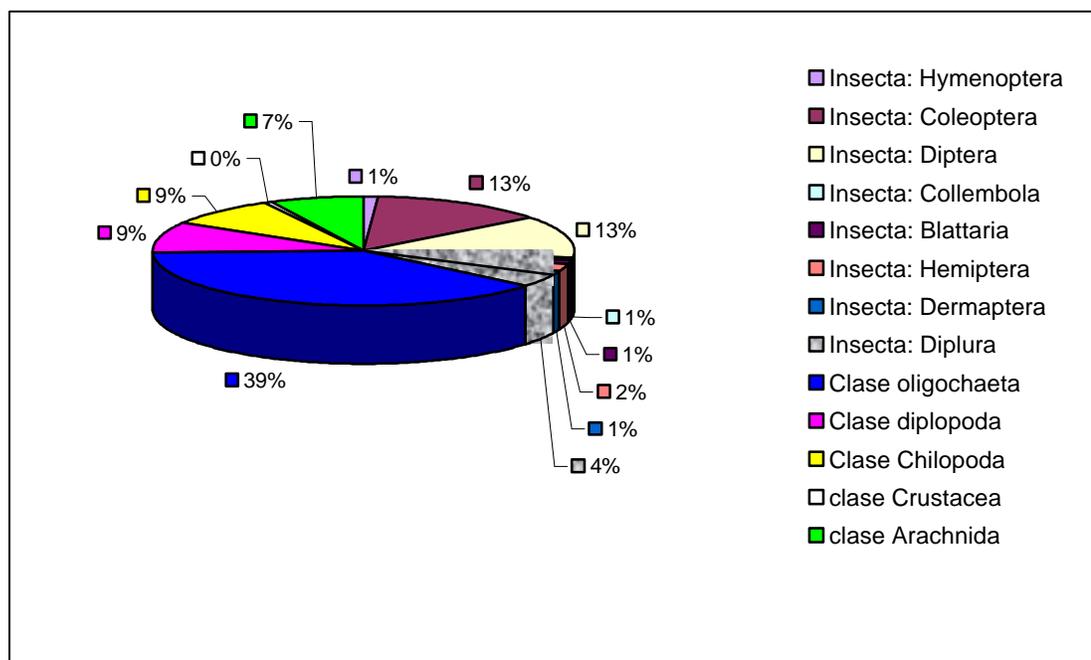
Figura 18. Distribución vertical de la macrofauna asociada al suelo entre los 0 – 10 cm bajo cobertura de pino (*Pinus patula*)



Fuente: Esta investigación

Para la segunda profundidad (10-20 cm), en la plantación de *P. patula* se determinó los siguientes porcentajes: clase Oligochaeta 69,41%, (397 individuos por estrato); clase Insecta, orden Coleóptera 17,13% (98 individuos), donde la familia Scarabaeidae aporta con 13,98%, Elateridae con 1,75%, Chrysomelidae con 0,87% y Tenebrionidae con 0,53%; el orden Blattaria 1,92% con 11 individuos por estrato, Diplura con 0.35%. Los artrópodos de la clase Chilópoda registran 4,02% donde el orden Geophilomorpha aporta el 1,92%, Geophilomorpha con 1,57% y Lithobiomorpha el 0,53%. El menor porcentaje lo aportan la clase Diplópoda con 2.27%, donde el orden Glomerida aporta el 1,05% (6 individuos por estrato) y Polydesmida 1,22% con 7 individuos) (Figura 19).

Figura 19. Distribución vertical de la macrofauna asociada al suelo entre los 10 – 20 cm bajo cobertura de pino (*Pinus patula*)



Fuente: Esta Investigación

Al realizar el análisis de correlación (Anexo A), se encontró que la distribución vertical en la sucesión natural (rastrojo), correlacionó con el contenido de humedad gravimétrica ($r = 0,63$), densidad real ($r = - 0,44$), humedad a capacidad de campo ($r = 0,51$) y contenido de materia orgánica ($r = 0,58$). En la cobertura de pino se presentó una correlación significativa de la distribución vertical con el porcentaje de limos ($r = - 0,48$). En los suelos bajo cobertura de roble, no se presentaron correlaciones significativas entre la distribución de la macrofauna del suelo y las propiedades físico-químicas evaluadas (Anexo A).

Lo anterior explica por que la mayoría de organismos encontrados en los tres ecosistemas evaluados, se halló en los primeros diez centímetros de profundidad, ya que es ahí donde se encuentran mejores condiciones de supervivencia como temperatura, luz y contenido de nutrientes.

Al respecto, Pritchett¹²⁹ indica que el grado en que los organismos se desarrollan en los diferentes ambientes depende de las características de los organismos y factores del suelo, tales como humedad, temperatura, ventilación, acidez, así como la disponibilidad de nutrientes y energía.

De las Salas¹³⁰, también determina que son muchos los factores que tienen efecto sobre la densidad y la composición de los organismos del suelo, macro y microflora, menciona que la mayoría de éstos dependen, para su funcionamiento, de factores edáficos como la humedad, la temperatura, la aireación, la acidez y el estado nutricional, así como de los suministros de energía.

Adis¹³¹ reporta que en un bosque primario el 70% de los individuos se encontraron en los primeros 3,5 cm de profundidad, el 30% restante de los 3,5 a 5 cm. En un bosque secundario la fauna del suelo se encontró de 0 a 3,5 cm en un 61 – 64%; del 20 – 21% entre 3,5 y 7,0 cm y el restante entre 7 y 14 cm de profundidad.

Coral¹³² encontró que en la selva secundaria el 52,62% de la población se ubica en la hojarasca, seguido de la población encontrada entre los 0 – 10 (27,66%), 10 – 20 cm (12,63%) y la menor entre los 20 – 30 cm (7,07%). Manifiesta que bajo ésta cobertura se presenta un ambiente favorable para la presencia de organismos a diferentes profundidades (estratos), contrario lo que sucede en la pradera donde la población se ve reducida entre los 0 – 10 cm de profundidad.

Feijoo y Knapp¹³³ bajo condiciones de selva secundaria encontraron que del 32 al 35% de la población de la macrofauna se encuentra en las capas de 0 – 10 y 10 – 20 cm, hallando una proporción de 12,6% en la hojarasca y un 19% en la capa de 20 – 30 cm.

¹²⁹ PRICHET, Op.cit., 576 p.

¹³⁰ DE LAS SALAS, Op.cit., 444 p.

¹³¹ ADIS, J. On the abundance and density of terrestrial arthropods in Central Amazonian dry land forests. In: Journal of Tropical Ecology, 1998. 24 p.

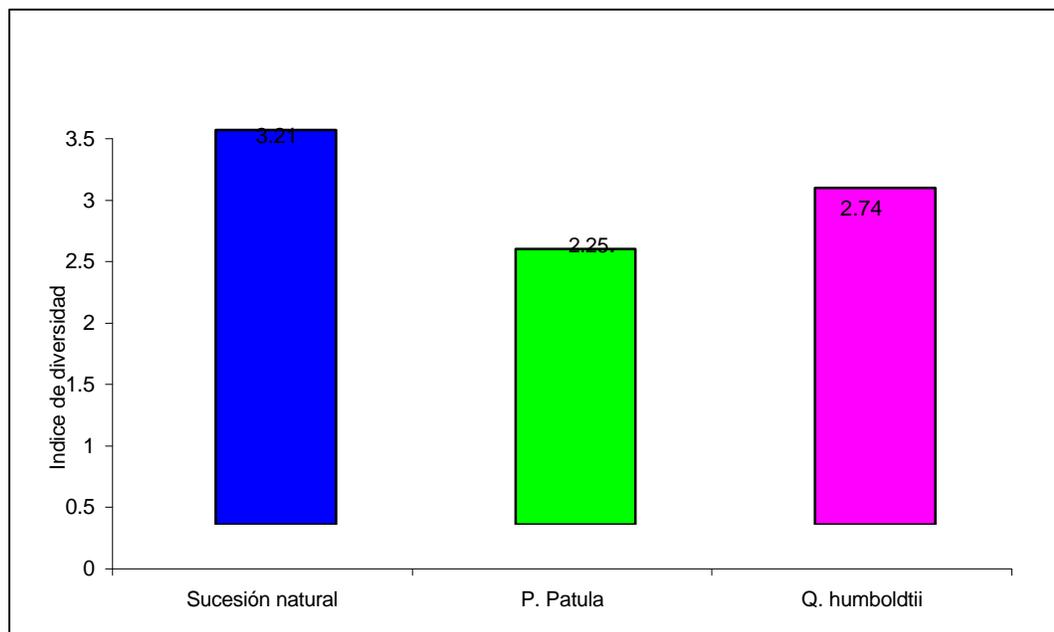
¹³² CORAL, Dilia. Op.cit., 70 p.

¹³³ FEIJOO y KNAPP, Op.cit., 300 p.

García y Chamorro¹³⁴ en un bosque alto Andino encontraron que la estructura del suelo y el contenido de materia orgánica determinaron la distribución vertical de la edafofauna. La densidad es mayor en el primer horizonte del suelo donde la estructura es de tipo granular y contiene 34% de materia orgánica, en el segundo horizonte la densidad es menor, así mismo el contenido de materia orgánica (22%) y la estructura pasa a ser de bloques prismáticos subangulares lo que causa disminución de macroporos. Manifiestan que el mantillo es de gran importancia para la conservación de la fauna que allí habita ya que la hojarasca ayuda a conservar la humedad y la temperatura a la vez que sirve de refugio y fuente de nutrientes para la fauna. Además, indican que los valores de densidad edafofaunística durante el período de muestreo (dinámica temporal) permiten establecer que la estratificación de los invertebrados no está determinada por el aumento de la precipitación estacional y/o la temperatura.

3.3.4 Índice de diversidad de Shannon-Wiener. En los tres ecosistemas forestales muestreados, se encontró que la cobertura de roble (*Quercus humboldtii*) presentó un valor de 2,74; la sucesión natural (rastrojo) 3,21 y la plantación de pino (*Pinus patula*) un valor de 2,25 (Figura 20).

Figura 20. Índice de diversidad de Shannon – Wiener calculado para tres coberturas vegetales



Fuente: Esta investigación

¹³⁴ GARCIA y CHAMORRO, Op.cit., 199 p.

Según Roldán¹³⁵: el índice de diversidad de las especies refleja no solamente la distribución de las especies, sino también la importancia de cada especie en la comunidad.

Al respecto, Tate¹³⁶ manifiesta que en los bosques con alta diversidad se presenta también mayor diversidad de organismos del suelo debido a la mayor cantidad de nichos alimenticios que éste brinda.

Odum¹³⁷ de otra parte afirma que las comunidades en medios ecológicos estables tienen diversidad de especies más altas que las comunidades sujetas a perturbaciones estacionales ya sea por el hombre o la naturaleza.

Coral¹³⁸ encontró un índice de diversidad de 2,70 para la selva secundaria, en el cultivo de cebolla de 1,81 y para la pradera natural de 0,71. Considera que los resultados están relacionados con las fluctuaciones de poblaciones debido a la perturbación ocasionada por las prácticas agrícolas como efecto de la disturbación humana.

Eraso¹³⁹ encontró la mayor diversidad de la macrofauna bajo plantaciones de eucalipto (2,33) en relación con la obtenida bajo cobertura de pino (2,15) y pradera natural de kikuyo (1,57).

¹³⁵ ROLDAN, Gabriel. Manual de Limnología. Medellín : Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Biología, 1987. 69 p.

¹³⁶ TATE, citado por PEÑARANDA y NARANJO, Op.cit., 300 p.

¹³⁷ ODUM, Op.cit., 639 p.

¹³⁸ CORAL, Op.cit., 70 p.

¹³⁹ ERASO, Op.cit., 100 p.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas del suelo evaluadas (humedad gravimétrica, humedad a capacidad de campo, porosidad, porcentaje de los agregados del suelo) presentaron diferencias dependiendo del tipo de cobertura y de la profundidad de muestreo.
2. El contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónica de los suelos depende de la cobertura vegetal y de la profundidad de muestreo
3. La abundancia de los macroinvertebrados del suelo, su biomasa y distribución vertical dependen del tipo de cobertura vegetal y de la profundidad de muestreo.
4. Bajo condiciones de cobertura de pino *Pinus patula* la materia orgánica correlacionó inversamente con la densidad aparente y directamente con la porosidad y la CIC. El contenido de limos influye inversamente sobre la proporción de arenas, arcillas y la abundancia y distribución vertical de la macrofauna del suelo.
5. En la cobertura de roble *Quercus humboldtii* se encontró una correlación negativa entre el contenido de materia orgánica y la densidad aparente, y positiva con la porosidad total y la CIC. El contenido de limos influyó inversamente sobre el contenido de arcillas y sobre los valores de pH.
6. La sucesión natural (rastrojo), presentó una correlación inversa de la materia orgánica con la densidad real, la porosidad, el porcentaje de arenas y una correlación directa con la humedad gravimétrica, humedad a capacidad de campo, abundancia de la macrofauna, biomasa y distribución vertical de la misma. La abundancia, biomasa y distribución vertical correlacionaron directamente con la humedad gravimétrica, e inversamente con la densidad real.
7. Bajo cobertura de pino, la mayor abundancia la presentó la clase Oligoqueta (53%) seguida de la Insecta donde los órdenes más abundantes fueron Coleóptera y Díptera. En la cobertura de roble, la macrofauna estuvo representada por la clase Insecta (57%) donde los órdenes más representativos son Coleóptera y Diplura, seguida de la clase Chilópoda. Bajo la cobertura de rastrojo la mayor abundancia la presenta la clase Insecta, órdenes Himenóptera y Coleóptera; seguida de la clase Oligoqueta.

8. La mayor biomasa bajo cobertura de pino la aportó la clase Oligochaeta, seguida del aporte realizado por la clase Insecta, órdenes Coleóptera y Díptera. En el bosque de roble la clase Insecta realizó el mayor aporte de biomasa con los órdenes Coleóptera y Diplura, seguido de la clase Oligoqueta. Para la cobertura de rastrojo, el mayor aporte lo realizó la clase Insecta órdenes Coleóptera y Hemíptera, seguido de la clase Oligoqueta.

9. Para la cobertura de pino, el mayor aporte de individuos entre los 0 – 10 y 10 - 20 cm lo realizó la clase Oligoqueta. En la cobertura de roble para los 0 – 10 cm el mayor número de individuos lo aportó la clase Quilópoda y de 10 – 20 cm la clase Insecta, órdenes Coleóptera y Diplura. Para la sucesión natural, de los 0 – 10 cm el mayor número de individuos lo aportó la clase Insecta, órdenes Hymenóptera y Coleóptera y de los 10 – 20 la clase Oligoqueta.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Evaluar bajo los tres tipos de cobertura estudiados, pino, roble y sucesión natural, el aporte de biomasa vegetal y su influencia sobre la macrofauna.
2. Estudiar el hábito de alimento de la macrofauna asociada a los tres tipos de cobertura estudiadas.
3. Realizar un seguimiento de la evolución de la macrofauna asociada a la sucesión natural.
4. Efectuar análisis cualitativos y cuantitativos sobre los individuos de la clase Oligochaeta presentes en los ecosistemas propuestos y su relación con las características físico – químicas del suelo, para definir su importancia en los suelos forestales.
5. Realizar estudios de descomposición de la hojarasca asociada a las tres coberturas forestales estudiadas.

BIBLIOGRAFÍA

ADIS, J. On the abundance and density of terrestrial arthropods in Central Amazonian dry land forests.. *Journal of Tropical Ecology* Vol. 4 (1988). 24 p.

AMEZQUITA, Edgar. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. En: Fertilidad de suelos, SCCS, Bogotá, 1994. 154 p.

ANDERSON, J. and INGRAM, J. Tropical soil biology and fertility programme. A Handbook of Methods. Wallingford: Second edition. CAB International., TSBF, 1993. 96 p.

ARENAS, Hernando. Descomposición de hojarasca en dos bosques altoandinos: un bosque nativo, *Weinmania tomentosa* y *Drymis granadiensis* y un bosque de *Eucalyptus globulus*. *Suelos Ecuatoriales* Vol. 19 No. 1 (1988). 300 p.

ARIAS, Antonio. Algunas propiedades físicas en dos suelos derivados de cenizas volcánicas por varios métodos y combinaciones de los mismos, en el municipio de Pasto, Nariño – Colombia. San Juan de Pasto, 1970, 54 p. Trabajo de grado (Profesor Asociado). Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola.

BENAVIDES, Orlando y GOMEZ, Oscar. Prediagnóstico de la cuenca media del río Pasto. San Juan de Pasto: CORPONARIÑO, 2001. 70 p.

BERNAL, A y FIGUEROA, G. Estudio ecológico comparativo de la entomofauna de un bosque alto andino y un páramo localizado en la región de Monserrate. Bogota, 1980, 87 p. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad Nacional de Colombia.

BOHN, Hinrich, McNEAL, Brian y O'CONNOR, George. Química del suelo. México : Limusa, 1993. 370 p.

BONILLA, Carmen. Notas preliminares sobre biología del suelo. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 1998. 74 p.

BORROR, F., TRIPLEHORNICH, C. and JOHNSON, N. An introduction to the study of insects. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1989. 875 p.

BURBANO, Hernán. Materia orgánica, acción microbial y alternativas bioorgánicas para la sostenibilidad de los suelos agrícolas. En: Estrategias para la productividad de los suelos agrícolas. Tolima, Ibagué, SCCS, 2002. 30 p.

BURBANO, Hernán. Desarrollo sostenible y educación ambiental. Aproximación desde la naturaleza y la sociedad. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, 2000. 87 p.

BURBANO, Hernán, CORAL, Dilia, UNIGARRO, Alberto y ROMO, Martha. Evaluación integral de la calidad del recurso suelo en el Santuario de Flora y Fauna del volcán Galeras, sur de Colombia. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Sistema de Investigaciones – VIPRI, 2005. 368 p.

BURGES, Alan y RAW, F. Biología del suelo. Barcelona: Omega, 1971. 596 p.

CARRILLO, Ignacio y VINAZCO, César. Guía para el servicio regional de análisis de suelos. Colombia: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Subgerencia General Técnica. Programa de Agronomía, 1990. 79 p.

CASTILLO, E. y AMAT, G. Caracterización biológica. Macrofauna y principales aspectos edafológicos de los suelos de zurales del municipio de Puerto Carreño (Vichada). Bogotá, 1986. 178 p. Trabajo de grado (Biólogo) Universidad Nacional de Colombia.

CASTILLO, Jesús y AMÉZQUITA, Edgar. Identificación de indicadores de susceptibilidad del suelo a la erosión en Inceptisoles andinos. En: I Taller Nacional sobre indicadores de calidad del suelo. [CD-ROM]: PDF. Palmira, Colombia: CIAT, 2004.

CORAL, Dilia. Impacto de las prácticas agrícolas sobre la macrofauna del suelo en la cuenca alta del Lago Guamues, Pasto, Colombia. Palmira, Valle del Cauca, 1998, 70 p. Trabajo de grado (M.Sc), Universidad Nacional de Colombia.

CORAL, Dilia, BURBANO, Hernán, UNIGARRO, Alberto, MORA, Magally y MONCAYO, Nayibe. Uso de indicadores para evaluar la calidad del suelo en la zona de reconversión del cultivo de trigo, de los municipios de Tangua y Yacuanquer, Nariño. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Sistema de Investigaciones – VIPRI., 2003. 118 p.

CORTES, Francisco y VIVEROS, Miguel. Manual de laboratorio de suelos. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1977. 108 p.

CHAMORRO, Clara. Actividad de lombrices de tierra en el páramo de Chisacá (Cundinamarca – Colombia). Suelos Ecuatoriales Vol. 16 No. 1 (1986). 300 p.

CHAMORRO, C. y CORTES, L. Características físico – químicas y la población de lombrices en el transecto altitudinal del páramo de Chisacá, Cundinamarca (Colombia). Suelos Ecuatoriales Vol. 13 No. 1 (1984). 300 p.

CHAMORRO, C. y CORTES, L. Influencia del medio edáfico en la población de lombriz de tierra en la Sabana de Bogotá. En: Boletín Departamento de Biología Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia Vol. 1 No. 4 (1982). 300 p.

CHAMORRO, Clara y GARCÍA, Mery. Aspectos ecológicos del bosque alto andino en una región de Monserrate. *Investigaciones* Vol. 2 No. 1 (1989). 190 p.

CHAMORRO, Clara y ZULUAGA, D. Comunidades bioedáficas en tres regiones naturales de Colombia. *Suelos Ecuatoriales* Vol. 28 (1998). 300 p.

DE LAS SALAS, Gonzalo. *Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en la América Tropical*. México, IICA, 1987. 444 p.

DECAENS, J., JIMENEZ, J. SCHNEIDMADL, J. y LAVELLE, P. La macrofauna del suelo en sistemas de producción agrícola: respuestas a las perturbaciones y perspectivas de manejo. Un caso de estudio en los Llanos orientales de Colombia. *Suelos Ecuatoriales* Vol. 28 (1998). 300 p.

DECAENS, T., LAVELLE, P., JIMENEZ, J., ESCOBAR, G. and RIPPSTEIN, G. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *European Journal of Soil Biology*, Vol. 30 No. 4 (1994). p. 157-168.

ELLIOT, L. and LYNCH, J. Biodiversity and soil resilience. In: Greenland, O. and Szabolcs, I. Eds. *Soil resilience and sustainable land use*. CAB International, 1994. 480 p.

ERASO, Hernán. Estudio de la macrofauna del suelo bajo plantaciones de Pino (*Pinus patula* Schlech. et Cham.) y Eucaliptos (*Eucalyptus globulus* Labill.) en un suelo del altiplano de Pasto. San Juan de Pasto, 1999, 100 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agroforestal). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas.

FAJARDO, G. y PRINCE, C. Ciclo biológico y algunos aspectos ecológicos de las lombrices de tierra en dos suelos de la Sabana de Bogotá. Bogotá, 1976, 77 p. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad Nacional de Colombia.

FEIJOO, A. y KNAPP, E. El papel de los macroinvertebrados como indicadores de fertilidad y perturbación de suelos de laderas. *Suelos Ecuatoriales* Vol. 28 (1998). 300 p.

FEIJOO, A y QUINTERO, V. Glossoscolecidae de una región de los andes del departamento del Valle, Colombia. *Suelos Ecuatoriales* Vol. 28 (1988). 300 p.

FEIJOO, A. y QUINTERO, V. Relación del uso de la tierra en agrosistemas del Neotrópico con la biodiversidad del suelo. En: CONGRESO USOS DE LOS MICROORGANISMOS EN LA AGRICULTURA. MATERIA ORGÁNICA, MITO O REALIDAD (10ª 2001: Medellín). Memorias del X Congreso, usos de los microorganismos en la agricultura. Materia orgánica, mito o realidad. Medellín, SCCS, 2001. 75 p.

FITZ PATRICK, E. A. Introducción a la ciencia de los suelos. México, Trillas, 1996. 288 p.

GARCIA, Álvaro. La degradación de los suelos, un obstáculo para el desarrollo sostenible. En: CONGRESO SOBRE MANEJO DE SUELOS E IMPACTO AMBIENTAL (9º: 1998: Paipa, Boyaca). Memorias del IX Congreso Sobre Manejo de Suelos e Impacto Ambiental. Paipa, Boyacá, Colombia: SCSC, 1998. 305 p.

GARCIA, M. y CHAMORRO, C. La edafofauna de un bosque alto andino en una región de Monserrate, Cundinamarca, Colombia. Suelos Ecuatoriales Vol. 12 No. 2 (1988). 300 p.

GONZALEZ, Adel. Manual de laboratorio de suelos. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1969. 150 p.

GONZALEZ, Germán. 1976. Métodos estadísticos y principios de diseño experimental. 2 e.d. Quito: Universidad Central del Ecuador, 1976. 371 p.

HAROLD, H. y HOCKER, J. Introducción a la Biología Forestal. México: AGT, 1984. 534 p.

HENRIQUEZ, Carlos y CABALCETA, Gilberto. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. San José de Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 1999. 109 p.

HOLE, F. Effects of animal on soil. Geoderma Vol. 25 (1981). 112 p.

IGAC, Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Subdirección Agrológica. Santafe de Bogotá: IGAC, 1995. pp. 241 – 252.

IGAC. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá: IGAC, 1990. 502 p.

IGAC. Estudio general de suelos del nororiente del departamento de Nariño. Bogotá: IGAC, 1986. 558 p.

LAVELLE, Patric. The soil fauna of tropical savannas. In: Ecosystems of the world. Amsterdam : Bourliere Elsevior, 1985. 504 p.

MARIN, E., FEIJOO, A. y PEÑA, J. Cuantificación de la macrofauna en un vertisol bajo diferentes sistemas de manejo en el Valle del Cauca, Colombia. Suelos Ecuatoriales Vol. 32 (2002). 300 p.

MONTENEGRO, Hugo. Propiedades físicas de los suelos en relación con la fertilidad. En: Manejo integral de la fertilidad del suelo. Bogotá : SCCS, 2003. 112 p.

OBANDO, Franco, MONTES, José y ZULUAGA, M. Desarrollo de indicadores de calidad inherente y dinámica de Andisoles en el departamento de Caldas. En : I Taller Nacional sobre indicadores de calidad del suelo. [CD-ROM]: PDF. Palmira, Colombia : CIAT, 2004.

ODUM, M. Ecología. 3 e.d. México: Trillas, 1972. 639 p.

PEÑARANDA, María y NARANJO, Gladis. Composición y variación de la edafofauna de un oxisol (petroférico Acroperox) del complejo migmático de Mitú bajo tres usos diferentes del suelo. Suelos Ecuatoriales Vol. 28 (1998). 300 p.

PLA, Idelfonso. La materia orgánica y la degradación y la erosión de suelos en el trópico. En: EL COMPONENTE BIORGÁNICO DEL SUELO. (8º : Bucarmanaga : 1994). En Memorias del VIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga : SCCS, 1994. 137 p.

PRITCHETT, William. Suelos Forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. México: Limusa, 1986. 576 p.

ROLDAN, Gabriel. Manual de Limnología. Medellín : Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Biología, 1987. 215 p.

SADEGHIAN, Siavosh, OROZCO, O. y MURGUEITO, E. Monitoreo del suelo en los agroecosistemas de alta montaña del Quindío. Suelos Ecuatoriales Vol. 31 No. 2 (2001). 300 p.

SALINAS, José y GARCIA, Ramiro. Métodos analíticos para suelos ácidos y plantas. Cali, Colombia : CIAT, Programa de Pastos Tropicales, 1979. 49 p.

SANCHEZ DE PRAGER, Marina. Actividad biológica en la rizosfera del maracuya en diferentes sistemas de manejo, estados de desarrollo y condiciones fitosanitarias. Madrid, España, 2003, 262 p. Tesis doctoral (Ingeniera Agrónoma). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.

SANCHEZ DE PRAGER, Marina y GOMEZ, Eyder. El suelo: un sistema vivo. Instituto de Estudios Ambientales – IDEA. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, 2000. 14 p.

STURM, H. y RANGEL, O. Ecología de los páramos andinos. Bogotá : Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, 1985. 235 p.

UNIGARRO, Alberto, Evaluación de la calidad de un suelo Dystric Cryandepht mediante la determinación de algunas propiedades biológicas, químicas y físicas, en el Santuario de Flora y Fauna Galeras, Nariño. Palmira, Valle del Cauca 2005, p.4 Trabajo de grado (M. Sc.). Universidad Nacional de Colombia. 148 p.

UNIGARRO, Alberto y CARREÑO, María. 2005. Métodos químicos para el análisis de suelos. San Juan de Pasto : Universidad de Nariño, 72 p.

VALENZUELA, I., PEREA, G. y AMEZQUITA, E. 2001. Evaluación del agua gravitacional a través del perfil de un suelo de la altillanura. Suelos Ecuatoriales Vol. 31 No. 2 (2001). 300 p.

VAN DER HAMMEN, T. La fauna de los suelos en el transecto Buriticá – La Cumbre (sierra nevada de Santa Marta): datos iniciales. Studies on tropical Andean ecosystem. Vol. 2. Berlin Stuttgart. (1984); 453 p..

VAN DER HAMMEN, T. y BEGLINGER, E. Fauna de los suelos en el trayecto parque los Nevados. Studies on tropical Andean ecosystem. Vol. 3. Berlín Stuttgart. (1989); 445 p.

ZULUAGA, D., ARENAS, G., Sánchez, H., CHAMORRO, C., CORTES, A. Y LEON, T. Componente bioedáfico de los suelos Caño – Limón (Arauca – Colombia). Suelos Ecuatoriales Vol. 25 (1995); 300 p.

ANEXOS

**Anexo A. Correlación entre las variables edafológicas estudiadas
(Pino – *Pinus patula*)**

	HG	HH	DA	DR	PO	CC	AC	ARE	LI	PH	MOS	CIC	DV	AB	BM
HG	1,000														
HH	0,117 0,621	1,000													
DA	0,493 0,027	0,004 0,985	1,000												
DR	0,193 0,413	0,299 0,199	0,132 0,578	1,000											
PO	0,296 0,204	0,222 0,345	-0,721 0,000	0,033 0,888	1,000										
CC	0,181 0,444	0,062 0,792	0,482 0,0331	0,0053 0,823	0,033 0,888	1,000									
AC	0,032 0,892	0,245 0,296	-0,118 0,619	0,277 0,236	0,053 0,823	0,140 0,554	1,000								
ARE	0,028 0,905	0,250 0,286	-0,378 0,099	-0,197 0,404	0,277 0,236	0,350 0,129	0,085 0,718	1,000							
LI	0,058 0,806	0,054 0,818	0,266 0,257	-0,038 0,871	0,197 0,404	0,198 0,401	0,776 0,000	0,570 0,008	1,000						
PH	0,370 0,107	0,315 0,175	0,139 0,556	0,507 0,222	0,038 0,871	0,578 0,001	0,426 0,060	0,360 0,118	0,454 0,041	1,000					
MOS	0,345 0,135	0,388 0,185	-0,635 0,002	0,670 0,001	0,507 0,022	0,345 0,137	0,207 0,379	0,181 0,442	0,078 0,758	0,005 0,980	1,000				
CIC	0,052 0,825	0,299 0,199	-0,311 0,181	0,449 0,046	0,670 0,001	0,014 0,955	0,114 0,631	0,121 0,591	0,131 0,531	0,256 0,274	0,436 0,054	1,000			
DV	0,074 0,755	0,273 0,242	-0,259 0,269	0,270 0,249	0,270 0,249	0,207 0,879	0,166 0,484	0,426 0,060	0,485 0,030	0,343 0,138	0,058 0,807	0,011 0,963	1,000		
AB	0,136 0,562	0,286 0,221	-0,172 0,465	0,191 0,418	0,191 0,418	0,172 0,466	0,124 0,599	0,434 0,055	0,463 0,039	0,310 0,182	0,027 0,909	0,060 0,799	0,985 0,000	1,000	
BM	0,239 0,308	0,073 0,757	-0,532 0,015	0,425 0,061	0,425 0,061	0,276 0,237	0,265 0,257	0,359 0,119	0,388 0,097	0,210 0,373	0,275 0,239	0,142 0,548	0,720 0,000	0,676 0,001	1,000

Anexo A. Correlación entre las variables edafológicas estudiadas (Continuación)
(Roble – Quercus humboldtii)

	HG	HH	DA	DR	PO	CC	AC	ARE	LI	PH	MOS	CIC	DV	AB	BM
HG	1,000														
HH	0,069 0,769	1,000													
DA	-0,044 0,850	-0,092 0,698	1,000												
DR	0,055 0,817	0,239 0,308	0,401 0,079	1,000											
PO	0,017 0,940	0,277 0,235	-0,782 0,000	0,225 0,339	1,000										
CC	0,408 0,073	0,424 0,062	-0,115 0,626	0,040 0,864	0,087 0,712	1,000									
AC	0,073 0,757	0,093 0,694	0,143 0,546	0,351 0,129	0,028 0,905	0,098 0,679	1,000								
ARE	-0,366 0,111	0,140 0,553	-0,224 0,341	-0,575 0,007	-0,108 0,649	0,086 0,715	-0,577 0,007	1,000							
LI	0,0692 0,771	-0,167 0,480	-0,083 0,727	-0,185 0,434	0,012 0,959	-0,149 0,529	-0,942 0,000	0,271 0,246	1,000						
PH	0,395 0,084	-0,069 0,771	0,180 0,446	0,127 0,592	-0,104 0,667	0,144 0,524	0,540 0,013	-0,488 0,029	-0,438 0,053	1,000					
MOS	0,311 0,181	0,134 0,571	-0,678 0,001	-0,145 0,541	0,554 0,011	0,409 0,072	-0,004 0,983	0,035 0,881	-0,004 0,984	0,250 0,285	1,000				
CIC	0,063 0,789	0,156 0,511	-0,440 0,051	0,297 0,205	0,617 0,003	0,254 0,279	0,259 0,268	-0,223 0,343	-0,212 0,367	0,281 0,228	0,720 0,000	1,000			
DV	0,424 0,062	0,256 0,274	-0,199 0,398	-0,005 0,981	0,198 0,402	0,294 0,207	0,006 0,976	-0,195 0,407	0,069 0,771	-0,043 0,856	0,084 0,721	0,064 0,758	1,000		
AB	0,424 0,062	0,256 0,274	-0,199 0,398	-0,005 0,981	0,198 0,402	0,294 0,207	0,006 0,976	-0,195 0,407	0,069 0,771	-0,043 0,856	0,084 0,721	0,064 0,785	1,000 0,000	1,000	
BM	0,490 0,028	-0,030 0,897	0,174 0,463	0,060 0,798	-0,165 0,484	0,080 0,735	0,126 0,593	-0,021 0,929	-0,138 0,560	0,306 0,188	-0,091 0,700	-0,173 0,465	0,002 0,991	0,002 0,991	1,000

Anexo A. Correlación entre las variables edafológicas estudiadas (Continuación)
(Sucesión natural – Rastrojo-)

	HG	HH	DA	DR	PO	CC	AC	ARE	LI	PH	MOS	CIC	DV	AB	BM
HG	1,000														
HH	-0,061 0,797	1,000													
DA	-0,147 0,535	0,171 0,469	1,000												
DR	-0,597 0,005	-0,082 0,730	0,171 0,470	1,000											
PO	-0,467 0,037	-0,170 0,471	-0,464 0,039	0,788 0,000	1,000										
CC	0,444 0,049	0,319 0,169	-0,297 0,202	-0,730 0,000	-0,479 0,032	1,000									
AC	0,201 0,394	-0,068 0,775	0,201 0,394	-0,212 0,394	-0,317 0,172	0,201 0,394	1,000								
ARE	-0,150 0,525	0,097 0,683	-0,021 0,929	0,308 0,185	0,311 0,181	-0,521 0,018	-0,239 0,310	1,000							
LI	-0,105 0,656	0,009 0,967	-0,182 0,442	0,024 0,919	0,123 0,603	0,111 0,640	-0,823 0,000	-0,353 0,126	1,000						
PH	0,120 0,611	-0,202 0,392	-0,061 0,796	-0,128 0,590	-0,113 0,635	0,349 0,131	-0,131 0,579	-0,645 0,002	0,504 0,023	1,000					
MOS	0,529 0,016	0,287 0,218	-0,265 0,257	-0,700 0,000	-0,477 0,033	0,904 0,000	0,102 0,665	-0,614 0,003	0,260 0,267	0,364 0,114	1,000				
CIC	0,019 0,935	-0,100 0,672	-0,534 0,015	0,014 0,952	0,318 0,171	0,207 0,308	0,249 0,288	-0,092 0,696	-0,185 0,433	0,082 0,728	0,118 0,618	1,000			
DV	0,634 0,002	-0,080 0,735	-0,341 0,141	-0,440 0,052	-0,195 0,408	0,505 0,023	-0,140 0,554	-0,351 0,129	0,340 0,141	0,294 0,207	0,583 0,006	-0,048 0,839	1,000		
AB	0,635 0,002	-0,080 0,735	-0,341 0,141	-0,440 0,052	-0,195 0,408	0,505 0,023	-0,140 0,554	-0,351 0,129	0,340 0,141	0,294 0,207	0,583 0,006	-0,048 0,839	1,000 0,000	1,000	
BM	0,501 0,024	0,046 0,847	-0,232 0,324	-0,482 0,031	-0,307 0,187	0,313 0,178	-0,348 0,132	-0,016 0,945	0,345 0,135	0,177 0,453	0,430 0,058	-0,236 0,314	0,520 0,018	0,520 0,018	1,000

HG: Humedad gravimétrica; HH: Humedad higroscópica; DA: Densidad aparente; DR: Densidad real; PO: Porosidad total; CC: Humedad a capacidad de campo; AC: Porcentaje de arcillas; ARE: Porcentaje de arenas; LI: Porcentaje de limos; PH: Reacción del suelo; MOS: Materia orgánica del suelo; CIC: Capacidad de intercambio catiónica; DV: Distribución vertical de la macrofauna del suelo; AB: Abundancia de la macrofauna; BM: Biomasa de la macrofauna

Anexo B. Especies vegetales encontradas en la sucesión natural (Rastrojo)

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO
Rubiaceae	<i>Palicouiea amethystina</i> (R.d.P.)
Asteraceae	<i>Pentacalia vaccinioides</i> (H.B.K) Cuatr
Passiflora	<i>Passiflora cumbalensis</i> (Kaist
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L.
Rubiaceae	<i>Manettia discolor</i> stand.
Thelypteridaceae	<i>Thelypteris</i> sp.
Melastomataceae	<i>Tibouchina mollis</i> (Boapl) Cogn
Clusiaceae	<i>Hypericum</i> sp.
Aetnidaceae	<i>Saviavia pruinosa</i> R.E. Shultes
Myrsinaceae	<i>Geissanthus</i> sp
Piotaceae	<i>Roupala pachypoda</i> Cuatr
Orchidaceae	<i>Epidendium</i> sp
Melastomataceae	<i>Tibouchina</i> sp
Ericaceae	<i>Cavendishia bracteata</i> (R d P.ex J,st Hill) Hoer
Cunoniaceae	<i>Weinmania multijuga</i> Killip Smith

Anexo C. Comparación de promedios para la humedad higroscópica y la capacidad de intercambio catiónica obtenida en el suelo bajo tres coberturas vegetales. Prueba de Tukey (valores con la misma letra, no presentan diferencias estadísticas significativas).

Cobertura Vegetal	Humedad higroscópica (%)	Capacidad de intercambio catiónica (meq/100 g)
Pino	6,19 A	42,43 A
Roble	4,74 B	36,92 B
Rastrojo	5,82 B	38,63 B

Anexo D. Comparación de promedios para la capacidad de intercambio catiónica obtenida en diferentes profundidades en el suelo bajo tres coberturas vegetales. Prueba de Tukey (valores con la misma letra, no presentan diferencias estadísticas significativas)

Profundidad (cm)	Capacidad de intercambio catiónica (meq / 100 g)
0 – 10	40,8 A
10 – 20	36,92 B