

**EFFECTO DEL TIEMPO DE USO DEL SUELO SOBRE LA MACROFAUNA DEL
CULTIVO DE CEBOLLA *Allium fistulosum* L.***

**TIME OF SOIL USE EFFECT ABOUT THE ONION CROP MACROFAUNA
Allium fistulosum L.**

Yuli Andrea Guerrero¹
Luis Alberto Terán.¹
Alberto Unigarro²
Tito Bacca³

RESUMEN

Se cuantificó la diversidad, abundancia, biomasa y distribución vertical de la macrofauna en tres monocultivos de cebolla *Allium fistulosum* L. con diferentes períodos de uso del suelo (0 a 10 años, 10 a 20 años y mayor a 20 años) en la vereda la Alianza, municipio de Pasto (77°13.842'W, 1°13.487'N), utilizando la metodología propuesta por el programa Tropical Soil Biology and Fertility (T.S.B.F). Se tomaron monolitos de 0.25 cm * 0.25 cm y 30 cm de profundidad, que se dividieron en tres estratos; en estos se procedió a la extracción de los organismos en forma manual y a simple vista. La mayor abundancia, biomasa y biodiversidad se presentaron en el suelo con más de 20 de años de uso con 42.624 individuos m⁻², 310 g.p.f. (gramos peso fresco) m⁻² y un índice de diversidad de Shannon de H' = 2.12. En los tres usos del suelo evaluados la mayor abundancia se presentó en los 10 primeros cm de suelo, con 43.616 organismos m⁻². El segundo estrato de 10 a 20 cm de suelo, presentó la mayor biomasa con 161 g.p.f. m⁻². Se identificaron 34 familias correspondientes a 19 órdenes taxonómicos, siendo la familia Isotomidae (Collembola) la más abundante en los tres usos del suelo, con 23.952 individuos m⁻² en el uso del suelo de 0 a 10 años, 20.912 individuos m⁻² en el uso del suelo de 10 a 20 años y 9536 individuos m⁻² en el uso del suelo mayor a 20 años.

Palabras claves: Cebolla, macrofauna, abundancia, diversidad, biomasa, uso del suelo.

ABSTRACT

The amounts of the diversity, abundance, biomass and vertical distribution of the macrofauna in three onion monocultures *Allium fistulosum* L, with different periods of soil use (0 to 10 years, 10 to 20 years and more of 20 years), in the Alianza town, municipality of Pasto (77°13.842'W, 1°13.487'N), were evaluated using the methodology proposed by the program Tropical Soil Biology and Fertility (T.S.B.F). Were taken monoliths of 0.25 cm * 0.25 cm and 30 cm depth, wich was divided in three strata. Then were proceded to manual and just looking extraction individuals. The most abundance, biomass and biodiversity were presented in the soil with more of 20 years of use with 42.624 individuals m⁻², 310 g.p.f (grams wet weight) m⁻²

* Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

¹ Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, Colombia. E-mail: andreaguerrero87@gmail.com; luisalbertoteraneraso@gmail.com.

² Ing. Agr. M.Sc. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Laboratorios especializados. San Juan de Pasto. Colombia. E-mail; edisonandresunigarro@yahoo.es

³ Profesor asociado. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño San Juan de Pasto. Colombia. E-mail;titobacca@gmail.com

and a index diversity of Shannon of $H' = 2.12$. The greatest abundance in the three evaluated soil use, was presented in the top 10 cm of soil, with 43.616 bodies m^{-2} . The second profile of 10 to 20 cm of soil had higher biomass with 161 g.p.f m^{-2} . Were identified 34 families corresponding to 19 taxonomic orders, being the family Isotomidae (Collembola) the most abundant in the three soil use, with 23.952 individuals m^{-2} in the soil use of 0 to 10 years, 20.912 individuals m^{-2} in the soil use of 10 to 20 years and 9536 individuals m^{-2} in the soil use with more of 20 years.

Key words: onion, macrofauna, abundance, diversity, biomass, soil use.

INTRODUCCION

Los agricultores del departamento de Nariño que se dedican a la explotación de hortalizas como la cebolla junca, durante años han implementado sistemas de producción que perturban el buen desempeño de los ecosistemas, a través de prácticas de manejo intensivas como los monocultivos, la labranza, sobrepastoreo, fertilización y la aplicación indiscriminada de productos agroquímicos que afectan la calidad del suelo, debido a una serie de efectos destructivos sobre la biodiversidad de organismos, disponibilidad de nutrientes y propiedades físicas del suelo (Sánchez, 2003).

En este marco, el monocultivo representa un sistema de producción que explota una sola especie de plantas, ocasionando grandes pérdidas de cultivo por efecto del complejo de insectos plaga, que es menos diverso pero más abundante; en tanto, en ecosistemas naturales, el ciclo de nutrientes del suelo, la estructura edáfica y otras propiedades son reguladas por una comunidad de invertebrados altamente diversa (Saluso *et al*, 2004). La hipótesis principal de la presente investigación es que la densidad, riqueza y diversidad de macroinvertebrados edáficos disminuye con el tiempo de uso del suelo, llegando al mínimo en el monocultivo de mayor edad, lo que se asocia con la pérdida de la comunidad vegetal.

La cebolla junca es una de las cuatro principales especies hortícolas en el país, ya que representa el 13.4 % de la superficie cosechada a nivel nacional. Es un cultivo que no exige resiembra después de cada cosecha y proporciona varios cortes por una sola siembra; anualmente puede brindar de tres a cuatro cosechas (Pinzón, 2004).

Los principales departamentos productores de cebolla junca en Colombia son Boyacá, Cundinamarca, Valle del Cauca, Caldas, Risaralda, Nariño y Tolima. En el Departamento de Nariño existe un área sembrada de 760 has, siendo la región de Pasto, la mayor productora con un área de 330 has, donde se estimó una producción de 7360 toneladas durante el año 2006, con un rendimiento de 10,3 t ha⁻¹ (Secretaría de Agricultura, 2006).

Este cultivo se desarrolla entre 1500 y 3000 msnm, con una temperatura promedio de 16 °C. Requiere una precipitación entre 1000 y 1500 mm año⁻¹, tiene fácil adaptación en suelos francos, con buena profundidad efectiva y retención de humedad, con un contenido de materia orgánica de medio a alto y un pH entre 6.0 y 7.0, que permitan realizar labores culturales como el aporque, control de malezas, riego y otras prácticas que determinan una buena calidad post-cosecha (Castellanos, 1999).

El suelo es el hábitat natural tanto de microorganismos como animales invertebrados, que presentan una gran variedad de tamaños y metabolismos, los cuales son responsables de diversas funciones, constituyendo lo que se denomina “biota del suelo” (Swift *et al* 1979).

Según Lavelle *et al*, (2006), la macrofauna constituye el grupo de organismos de mayor efecto sobre las propiedades del suelo, puesto que participa en los procesos de incorporación de la materia orgánica, activa la mineralización, humificación y regulación de nutrientes que a su vez, intervienen directamente en la producción de alimento más asimilable para las plantas; modifica la estructura del suelo mediante la formación de macroporos y agregados que promueven el almacenamiento de humedad disponible para las plantas; facilita el almacenamiento e infiltración del agua, evitando el deterioro del suelo por inundación o erosión y regula el clima del suelo, ya que promueve la reserva de materia orgánica y biomasa.

Para Rodríguez (2005), la densidad, composición y distribución espacial de los organismos del suelo, dependen de factores edáficos como la humedad, la temperatura, la aireación, la acidez, el estado nutricional y los suministros de energía, que son definitivos para muchos organismos que viven en el suelo, los cuales deben moverse hacia las capas más profundas o hacia la superficie en busca de condiciones óptimas para su supervivencia y desarrollo.

En el departamento de Nariño, son escasos los trabajos relacionados con el estudio de la macrofauna del suelo asociada al cultivo de cebolla junca; además, se desconoce el efecto del tiempo de uso del suelo sobre la macrofauna asociada a este cultivo. Se destaca el trabajo realizado por Coral (1998), quien evaluó el impacto de las prácticas agrícolas sobre el suelo en tres ecosistemas en la cuenca alta del lago Guamués, donde encontró que la mayor abundancia, biomasa y diversidad de organismos se presentan en la selva secundaria comparada con la obtenida para las condiciones de pradera y cultivo de cebolla.

Erazo (1999), realizó un comparativo entre la macrofauna presente bajo plantaciones de pino y eucaliptos en un suelo del altiplano de Pasto, donde 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. Rodríguez (2005), realizó una caracterización físico química del suelo en tres coberturas vegetales para determinar su relación con la macrofauna del suelo en la vereda la Josefina, municipio de Pasto, donde encontró la mayor diversidad de organismos en la sucesión natural (rastrajo), sin embargo, la mayor biomasa y abundancia se obtuvo en la plantación de pino.

Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivos: evaluar la diversidad, abundancia, biomasa y distribución vertical de la macrofauna del suelo asociada al cultivo de cebolla y determinar el efecto del tiempo de uso del suelo sobre la macrofauna asociada a este cultivo, en la vereda la Alianza, municipio de Pasto, Nariño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se realizó en la vereda la Alianza, corregimiento de Buesaquillo, municipio de Pasto, ubicada geográficamente a $77^{\circ} 13.842'W$, $1^{\circ} 13.487'N$, 2838 msnm, con temperatura promedio de $12^{\circ}C$, humedad relativa del 86 % y una precipitación pluvial de $1475.7 \text{ mm año}^{-1}$.

Para la evaluación de la macrofauna del suelo se seleccionaron lotes sembrados con cebolla junca *Allium fistulosum* L. con diferentes tiempos de uso del suelo: de 0 a 10 años y 10 a 20

años, caracterizados por la ausencia de rotaciones, el manejo manual de malezas y la mínima aplicación de insecticidas; mayor a 20 años, caracterizado por la ausencia de rotaciones y la aplicación ocasional de materia orgánica como la gallinaza. Para el muestreo, se utilizó la metodología del T.S.B.F (Tropical Soil Biology and Fertility) descrito por Anderson e Ingram (1993). Entre los meses de agosto a octubre de 2009, se realizaron 10 muestreos, con intervalos de 8 días, cubriendo todo el ciclo del cultivo de cebolla, definiendo los puntos de muestreo, separados entre sí por 10 metros.

En cada muestreo se tomó un monolito de 25 cm x 25 cm x 30 cm de volumen de suelo, para cada uno de los sitios seleccionados. Este posteriormente se dividió en secciones: de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm y 20 a 30 cm de profundidad, las cuales se colocaron en bolsas plásticas previamente rotuladas con los datos de cada zona de estudio y de la fecha en que se realizó el muestreo; luego fueron llevadas a las instalaciones de los laboratorios de suelos de la Universidad de Nariño. Para la extracción de los organismos, se utilizó la metodología de extracción visual - manual descrita por Nelson (1962); los artrópodos se conservaron en alcohol al 70 % y los oligoquetos en formol al 5 %. Empleando un estereoscopio, se procedió a separar los individuos por grupos taxonómicos hasta nivel de familia, basados en claves taxonómicas de Borror *et al*, (1992). Los organismos se contabilizaron y pesaron empleando una balanza de precisión.

Variables evaluadas. En cada uno de los monolitos evaluados, se determinó la abundancia de la macrofauna asociada al suelo, calculando el número de individuos m^{-2} y la biomasa, determinando el peso fresco en gramos m^{-2} ; la distribución vertical se calculó por separado, registrando el número de individuos por cada estrato de suelo (Anderson e Ingram, 1993).

Indices de Diversidad

Índice de Shannon- Wiener. Para determinar la diversidad (riqueza) en cada uno de los cultivos de cebolla evaluados, se empleó el programa Past 1.38, para calcular el índice de diversidad de Shannon- Wiener (H'), que se considera como una medida de la incertidumbre

para predecir a qué especie pertenecerá un individuo elegido al azar de una muestra de S especies y N individuos (Shannon y Weaver, 1949). Se estima mediante la siguiente expresión.

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{ni}{N} \ln \left(\frac{ni}{N} \right)$$

Donde H' = diversidad,

N = número de individuos en la muestra,

ni = número de individuos de la especie i en la muestra. Presenta una escala de 0 a 5 en donde 5 representa la mayor diversidad.

Índice de Sorensen. Se calculó el índice de similitud cuantitativo de Sorensen con el programa Bio-Dap (1988), cuyos cualitativos están basados en la presencia y ausencia de especies (Magurran 1988). Se expresa mediante la siguiente ecuación.

$$ISs = \frac{2c}{A + B} * 100$$

Donde ISs = índice de semejanza de Sorensen

c = número de especies comunes para dos comunidades

A = número total de especies presentes en la comunidad A

B = número total de especies presentes en la comunidad B

Análisis Estadístico. Para explorar las relaciones entre la macrofauna y el tiempo de uso del suelo, se tuvieron en cuenta los datos de abundancia (No. Individuos m^{-2}) y biomasa g.p.f. (gramos peso fresco) m^{-2} de los 35 grupos taxonómicos identificados en los tres tiempos de uso del suelo. El método de ordenación utilizado fue un Análisis de Componentes Principales (ACP), que permitió establecer asociaciones entre las familias formando grupos en un dendograma, donde se observa un alto grado de similitud entre las variables evaluadas (abundancia y biomasa) de las poblaciones de la macrofauna estudiada. Para los cálculos se utilizó el programa estadístico Spad 3.5 (CISIA – CERESTA, 1998). Por otra parte se realizó una prueba de Tukey al 95 % de significancia con el fin de determinar diferencias en la distribución vertical de los organismos para los tres tiempos de uso del suelo; estos datos se calcularon mediante el programa estadístico SAS 9.1 (Statistical Analysis System).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

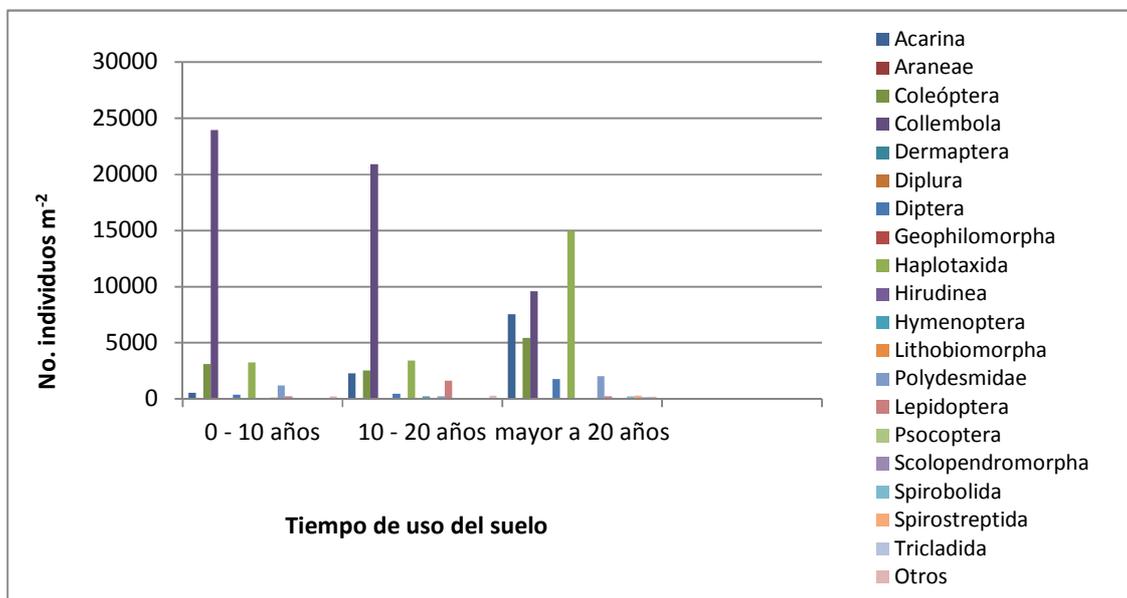
Abundancia. En total se recolectaron 108.192 individuos, de los cuales el 40 % (42.624 individuos) se encontraron en el tiempo de uso del suelo mayor a 20 años, un 30.7% (33.216 individuos) en el tiempo de uso del suelo de 0 a 10 años y un 29.9 % (32.352 individuos) en el tiempo de uso del suelo entre 10 a 20 años.

La abundancia total de la macrofauna decrece conforme aumenta la profundidad, presentándose los mayores valores en los dos primeros estratos de suelo con 43.616 y 39.264 individuos, respectivamente y los más bajos en el estrato más profundo con 25.312 individuos, lo que se explica ya que a medida que se profundiza en el perfil del suelo, disminuye el contenido de oxígeno y de materia orgánica que proporcionan el hábitat y alimento para el desarrollo de los organismos (Castro *et al*, 2007).

En la Figura 1, se denota que la macrofauna asociada al cultivo de cebolla está compuesta por 19 órdenes. Los órdenes destacados por su abundancia en todo el muestreo fueron, Collembola que representa el 50.31 % (54.432 individuos) del total de la macrofauna colectada, debido a que constituye una especie de invertebrados de comportamiento gregario, muy común y abundante en gran cantidad de hábitats que pueden alcanzar 100.000 individuos m⁻² de suelo; su importancia ecológica se debe a que participan en la descomposición de materia orgánica y estimulan la actividad de hongos y bacterias, acelerando los procesos de humificación, además, la sensibilidad de estos organismos ante cambios ambientales, como la humedad relativa y las concentraciones de CO₂, los hace bioindicadores de la salud del suelo (Ospina *et al*, 2003).

Haplotaxida representa el 20.02 % (21.664 individuos) del total de la macrofauna colectada, quizá porque las lombrices encontraron alimento y condiciones favorables como sombra y humedad en las zonas de estudio (Figura 1). Estos invertebrados son llamados ingenieros del ecosistema, debido a su capacidad para producir estructuras biogénicas como deyecciones, nidos, montículos, macroporos y galerías, sitios donde ocurren procesos pedológicos como la estimulación de la actividad microbiana, la formación de la estructura del suelo, la dinámica de la materia orgánica y el intercambio de agua y gas (Coleman *et al*, 2004).

Figura 1. Abundancia de la macrofauna del suelo asociada al cultivo de cebolla, discriminada por órdenes taxonómicos, vereda la Alianza, municipio de Pasto, 2009.



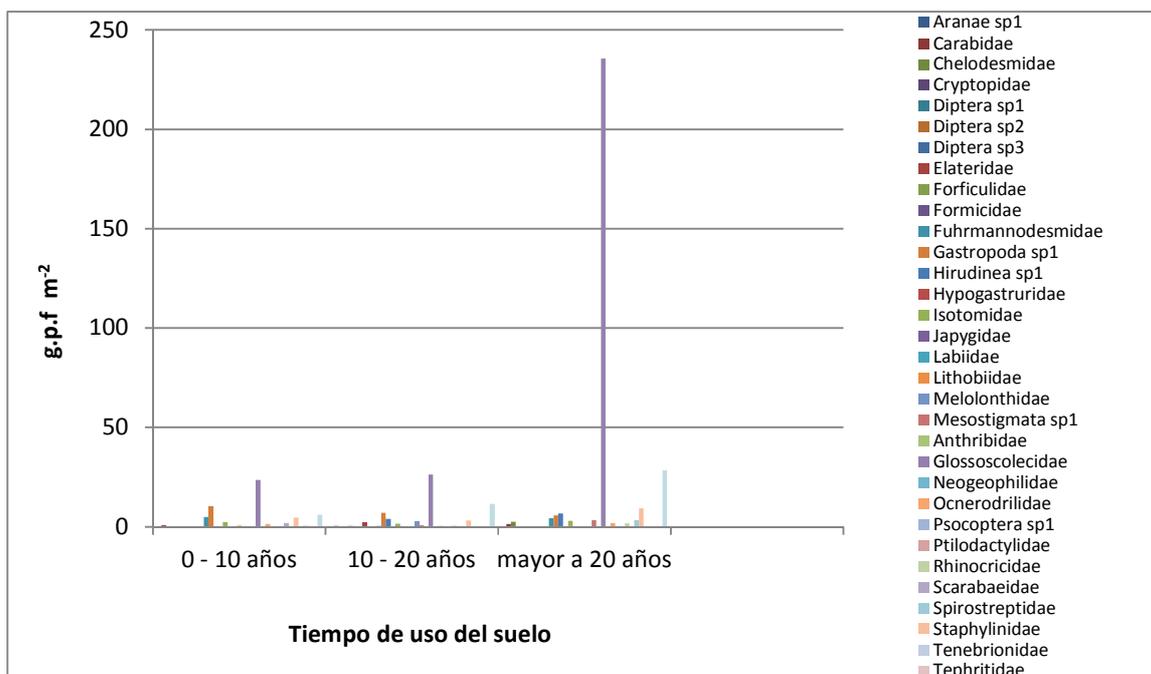
En la Figura 1 se observa que el orden Coleóptera representa un 10.26 % del total de la macrofauna colectada (11.104 individuos), lo que se explica dada su gran capacidad adaptativa en diversos ambientes y a su ciclo de vida, que en muchos casos posibilita su presencia durante todo el año (Navarrete y Newton, 1996). Estos organismos influyen en la transformación de residuos biodegradables, especialmente estiércol depositado sobre la superficie del suelo, el cual es incorporado al sistema edáfico, a través de los túneles y canales que los coleópteros excavan, lo que facilita la infiltración y aireación del suelo (Chamorro, 2001).

El orden Acarina representa un 9.59 % (10.384 individuos) del total de la macrofauna colectada, puesto que según Prieto *et al*, (2005), constituye un grupo abundante y diverso que, junto con Collembola, representan el principal componente del suelo y la hojarasca tanto por el número de individuos como de especies y biomasa (Figura 1). Estos organismos participan en el reciclaje de nutrientes del suelo, ya que estimulan la actividad de las bacterias y hongos al triturar la materia orgánica, por lo que indirectamente son reguladores del proceso trófico del suelo; se emplean para conocer el grado de antropización de los suelos, debido a su posición dentro de la red de interacciones de los agroecosistemas y su abundancia (Coleman *et al* 2004).

Se identificaron 34 familias en todo el muestreo, entre las que se destacaron por su abundancia, Isotomidae (Insecta: Collembola) con un 50.28 %, Ocnerodrilidae (Oligochaeta: Haplotáxida) con un 9.12 %, Staphylinidae (Insecta: Coleóptera) con un 9.08 %, Mesostigmata (Arachnida: Acarina) con 5.10 % y Glossoscolecidae (Oligochaeta: Haplotáxida) con 3.93 %.

Biomasa. En la figura 2 se observa que el mayor aporte de biomasa en los tres tiempos de uso del suelo, lo realizan los oligochetos, ya que el orden Haplotaxida representa un 50.06 % (29.08 g.p.f. m⁻²) en el tiempo de uso del suelo de 0 a 10 años, 46.74 % (29.55 g.p.f m⁻²) en el tiempo de uso del suelo entre 10 a 20 años y un 83.59 % (259.13 g.p.f m⁻²) en el tiempo de uso del suelo mayor a 20 años, debido a la presencia de lombrices de la familia Glossoscolecidae que presentan un alto volumen corporal. Estudios realizados por Coral (1998), al evaluar el impacto de las prácticas agrícolas en la cuenca alta del Lago Guamués, registran que el mayor aporte a la biomasa lo hacen las lombrices en la pradera de kikuyo y en el cultivo de cebolla, hecho que puede atribuirse posiblemente a la profusión de las raíces de estos cultivos, mecanismo de estimulación de estos organismos (Henrot y Brussard, 1997).

Figura 2. Biomasa de la macrofauna asociada al cultivo de cebolla, discriminada por familias, vereda la Alianza, municipio de Pasto, 2009.



Distribución vertical. La prueba de Tukey al 95% de significancia (Tabla 1) determinó que no se presentaron diferencias entre los estratos de las tres zonas evaluadas, aunque se destacó el estrato de 10 a 20 cm de profundidad, cuyo promedio fue de 1453.8 individuos/estrato. Los mayores aportes de biomasa se presentaron en los dos primeros estratos de suelo con 135.63 g.p.f m⁻² y 161 g.p.f m⁻², respectivamente.

Tabla 1. Prueba de Tukey al 95% para la distribución vertical de la macrofauna en tres tiempos de uso del suelo, vereda la Alianza, municipio de Pasto, 2009.

Profundidad	Individuos/estrato	0-10años	10-20 Años	> 20Años
0-10	1308.8 A	11.056 A	16.240 B	16.320 A
10-20	1453.8 A	15.712 A	9984 AB	13.568 A
20-30	843.7 A	6448 A	6128 A	12.736 A
GL	2	2	2	2
Fcal	2.45	2.08	4.23	6.01

Letras distintas en columnas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

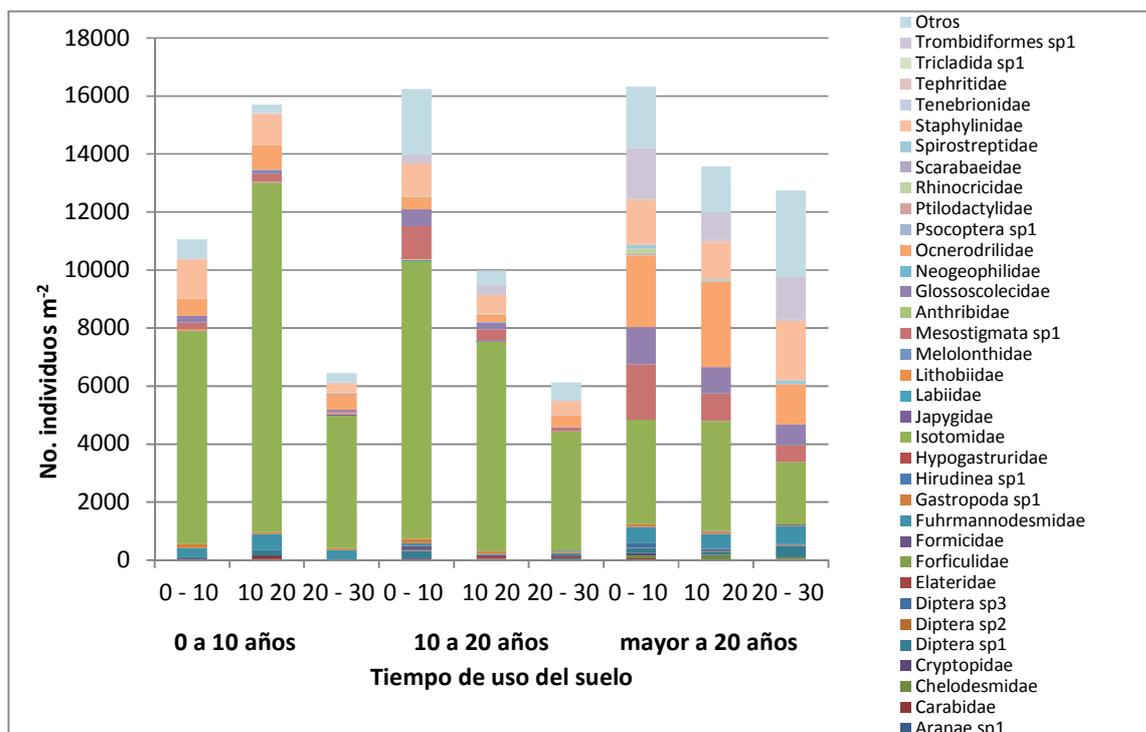
No se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en el tiempo de uso del suelo de 0 a 10 años, para los diferentes estratos evaluados; no obstante, la mayor abundancia de organismos (15.712 individuos m⁻²) se presentó en el estrato de 10 a 20 cm, lo que se explica por la presencia de la familia Isotomidae con 12.048 individuos m⁻²; el primer estrato a pesar de tener un número menor de individuos (11.056 individuos m⁻²) registra la mayor biomasa (24.44 g.p.f m⁻²), seguido del estrato más profundo (20.06 g.p.f m⁻²), esto se debe a que la familia Glossoscolecidae a pesar de presentar una baja abundancia, aporta la mayor biomasa con 10.16 g.p.f m⁻², al igual que Staphylinidae con 1.74 g.p.f m⁻².

En el tiempo de uso del suelo de 10 a 20 años, si se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los estratos de 0-10 cm y 20-30 cm, dado que la mayor abundancia y biomasa se presentaron en el primer estrato de suelo con 16.240 individuos m⁻² y 38.64 g.p.f m⁻², respectivamente, ya que la familia Isotomidae con 9584 individuos m⁻², el grupo de los ácaros del suborden Mesostigmata con 1120 individuos m⁻² y Staphylinidae con 1136 individuos m⁻², hacen los mayores aportes a la abundancia; por su parte, la familia Glossoscolecidae y Staphylinidae, hacen el mayor aporte de biomasa con 20.36 g.p.f m⁻² y 1.2 g.p.f m⁻², respectivamente. En el estrato de suelo más profundo, se encontró una abundancia de 6128 individuos m⁻² y una biomasa de 8.9 g.p.f m⁻².

En el suelo con un tiempo de uso mayor a 20 años, no se presentaron diferencias significativas entre estratos, no obstante se registró la mayor abundancia en el primer estrato de suelo (16.320 individuos m^{-2}), debido a que la familia Isotomidae con 3600 individuos m^{-2} , Ocnerodrilidae con 2464 individuos m^{-2} y Staphylinidae con 1536 individuos m^{-2} , hacen los mayores aportes a la abundancia. El mayor aporte de biomasa se encuentra en el estrato de 10 a 20 cm (131.77 g.p.f m^{-2}), ocasionado por la familia Glossoscolecidae que aporta una biomasa de 108.68 g.p.f m^{-2} y Staphylinidae con una biomasa de 3.72 g.p.f m^{-2} .

En la figura 3 se observa que la mayor abundancia de individuos se encuentra en los primeros 20 cm del perfil en los tres tiempos de uso del suelo. Resultados similares encontró Coral (1998), al reportar el mayor número de artrópodos en los primeros 10 cm de suelo, ya que la presencia de organismos disminuye al profundizar en el perfil (10 - 20 y 20 - 30 cm). Garcia (1998), al estudiar la fauna del suelo encontró las mayores biomásas y densidades de organismos en los 20 primeros cm de suelo y las menores en en el estrato más profundo.

Figura 3. Distribución vertical de la macrofauna asociada a tres tiempos de uso del suelo, vereda la Alianza, municipio de Pasto, 2009.



Lavelle *et al.*, (1994), afirman que generalmente la mayor actividad biológica tiene lugar en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, dado que la disponibilidad de nutrientes es mayor, pero las condiciones del medio son más variables, debido a que la luz, la temperatura y la humedad varían fuertemente. Esta variación se hace más evidente cuando se sustrae la capa orgánica que protege el suelo en los bosques, para transformarlos en monocultivos alterando el equilibrio ecológico de los ecosistemas.

Diversidad y Riqueza. En la Tabla 2 se muestran los valores de diversidad y similitud de Sorensen, donde se observa que existe una similitud del 85 % entre los cultivos de menor tiempo de uso del suelo, ya que comparten 14 familias en común y el número de individuos es similar, mientras que al compararse estas dos zonas con la de mayor tiempo de uso del suelo, solo se asemejan en un 50 %, debido a la diferencia en el número de individuos. El suelo sometido a monocultivo de cebolla con un tiempo de uso mayor a 20 años, presentó una mayor diversidad con un índice de Shannon de $H' = 2.12$, debido a que registra el mayor número de familias y al mismo tiempo de individuos.

En contraste con la hipótesis planteada inicialmente, en este trabajo de investigación se pudo evidenciar que el monocultivo sometido a un tiempo de uso del suelo mayor a 20 años, se caracterizó por presentar la más alta diversidad de especies, abundancia y biomasa, lo que se puede explicar porque algunas especies en particular se encuentran bien adaptadas a la explotación de los recursos y a la disturbación creada por el hombre, ya que generalmente sistemas de monocultivo, al suministrar un único sustrato de alimento, propician el desarrollo de determinados grupos faunísticos en detrimento de otros (Assad, 1997). Según Pérez *et al.*, 2004, al cambiar la estructura vegetal al sistema de monocultivo, mediante diferentes prácticas, se puede favorecer la incorporación de materia orgánica en el suelo, lo que propicia la adaptación de los macroinvertebrados, encargados de mantener las funciones del suelo.

Este hecho también puede atribuirse al manejo agronómico que se lleva a cabo en el monocultivo de cebolla sometido a un tiempo de uso del suelo mayor a 20 años, dado que la mínima aplicación de insecticidas para el control de plagas y la incorporación ocasional de materia orgánica, favorecen la presencia de la macrofauna.

Tabla 2. Valores de similitud (Sorensen) y diversidad de la macrofauna observada en tres tiempos de uso del suelo del cultivo de cebolla, vereda la Alianza, municipio de Pasto, 2009.

Zonas / Índices de Diversidad	0 - 10 años	10 - 20 años	Mayor a 20 años
0 -10 años	1	0.85	0.50
10-20 años	0.85	1	0.52
Mayor a 20 años	0.50	0.52	1
Shannon - Wiener (H')	1.04	1.19	2.12
Nº Familias	18	23	24
Nº Organismos	33.216	32.352	42.624

En la Tabla 3 se observa que los tres tiempos de uso del suelo, coinciden en que en el primer estrato es donde se presenta la mayor diversidad de especies, debido a la presencia de un alto número de familias y de individuos. Además, existe una alta similitud en la composición de especies entre los dos primeros estratos de cada zona de estudio.

Tabla 3. Valores de similitud (Sorensen) y diversidad de la macrofauna observados en tres tiempos de uso del suelo del cultivo de cebolla, vereda la alianza, municipio de Pasto, 2009.

Zonas/ índices de diversidad	0 -10 años			10 - 20 años			> 20 años		
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
0 -10 cm	1	0.76	0.72	1	0.79	0.55	1	0.84	0.74
10-20 cm	0.76	1	0.56	0.79	1	0.69	0.84	1	0.71
20-30 cm	0.72	0.56	1	0.55	0.69	1	0.74	0.71	1
Shannon – Wiener (H')	1.13	0.94	1.03	1.27	1.05	1.10	2.15	1.96	2.11
Nº Familias	14	16	12	18	17	15	21	18	19
Nº Organismos	11.056	15.712	6448	16.240	9984	6128	16.320	13.568	12.736

Análisis de Componentes Principales. Usando los datos disponibles de la abundancia y biomasa de 35 grupos taxonómicos identificados en los tres tiempos de uso del suelo, se realizó un análisis de componentes principales (ACP), que permitió establecer 5 factores que expresan el 99.94 % de la variación total evaluada. En la tabla 4 se muestran las estimaciones de los valores propios y la proporción de la variación total expresada por cada uno de los componentes principales elaborados con base en 35 grupos taxonómicos seleccionados.

Tabla 4. Valores propios y varianza resultantes del ACP, para las variables cuantitativas de la macrofauna del cultivo de cebolla, vereda la Alianza, municipio de Pasto, 2009.

Numero	Valor propio	Porcentaje	Porcentaje acumulado	
1	3.1102	51.84	51.84	*****
2	2.3943	39.90	91.74	*****
3	0.3369	5.61	97.36	*****
4	0.0948	1.58	98.94	***
5	0.0605	1.01	99.94	**
6	0.0034	0.06	100.00	*

El primer componente principal expone el 51.84 % de la variabilidad y como se observa en la Tabla 5, está conformado principalmente por las variables referentes a la biomasa de los tres tiempos de uso del suelo: de 0 a 10 años (-0.85), 10-20 años (-0.85) y mayor a 20 años (-0.80). Por su parte el factor dos, con una explicación del 39.90 % de la variabilidad observada, considero las variables relacionadas con la abundancia de las tres zonas de estudio, donde se destacan los tiempos de uso del suelo de 0 - 10 años (0.82) y 10 - 20 años (0.81). La variable que más aportó al tercer factor el cual explicó el 5.61 %, fue la abundancia del suelo con un tiempo de uso mayor a 20 años (-0.49). El cuarto factor mostró 1.58 % de explicación del total de la variabilidad y está conformado por la biomasa del suelo con un tiempo de uso mayor a 20 años (0.22). El quinto componente que explica un 1.01 % de la variación, está compuesto por la biomasa del suelo con un tiempo de uso entre 10-20 años (0.19).

Tabla 5. Contribución de 6 variables cuantitativas a la conformación de los primeros cinco factores de la macrofauna del cultivo de cebolla, vereda la Alianza, municipio de Pasto, 2009.

IDENTIFICACIÓN VARIABLES	COMPONENTES					CORRELACIONES VARIABLE-FACTOR				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Abun 0- 10	-0.52	0.82	0.23	-0.01	-0.03	-0.52	0.82	0.23	-0.01	-0.03
Biom 0- 10	-0.85	-0.47	0.03	-0.21	-0.10	-0.85	-0.47	0.03	-0.21	-0.10
Abun 10- 20	-0.56	0.81	0.18	0.01	0.06	-0.56	0.81	0.18	0.01	0.06
Biom 10- 20	-0.85	-0.49	-0.02	-0.02	0.19	-0.85	-0.49	-0.02	-0.02	0.19
Abun > 20	-0.67	0.56	-0.49	0.03	-0.03	-0.67	0.56	-0.49	0.03	-0.03
Biom > 20	-0.80	-0.54	0.11	0.22	-0.09	-0.80	-0.54	0.11	0.22	-0.09

Análisis de clasificación para las variables cuantitativas. Con base en las características cuantitativas presentadas por las diversas familias de la fauna edáfica encontrada, se realizó el análisis de clasificación, que permitió la conformación de 4 clases en un dendograma (Figura 4), donde se denotan diferencias entre las especies taxonómicas identificadas, evidentes por la formación de grupos con alto grado de similitud entre las especies que lo componen.

La primera clase fue conformada por 26 familias que representan el 3.97 % (4298 individuos) del total de la macrofauna colectada en todo el muestreo (Figura 4), caracterizado porque presenta un promedio menor al general tanto en biomasa como en abundancia en los tres tiempos de uso del suelo (Tabla 6), ya que en cada suelo se denota la ausencia de un significativo número de familias, mientras los grupos taxonómicos presentes hacen aportes bajos a la abundancia y biomasa. Las familias sobresalientes de esta clase son Tephritidae (Díptera) y Carabidae (Coleóptera), dada su función ecológica en el suelo como transformadores de residuos orgánicos, que a su vez intervienen en el ciclaje de nutrientes (Coleman *et al*, 2004).

La clase dos está compuesta por siete familias que representan el 41.80 % (45.232 individuos) del total de la macrofauna colectada en todo el muestreo (Figura 4), diferenciado porque exhibe promedios representativamente mayores a los promedios generales tanto en abundancia como en biomasa, excepto en la variable de biomasa en el tiempo de uso del suelo mayor a 20 años (Tabla 6). La primera familia que compone esta clase es Ocnerodrilidae, un grupo de lombrices de menor tamaño que se distribuye por casi todas las regiones biogeográficas del mundo y que se encuentran en las heces depositadas por individuos grandes (Jiménez *et al*, 1998).

La segunda familia que conforma esta clase es Staphylinidae (Figura 4), considerada como uno de los componentes más comunes en la fauna del suelo, dado que ocupa casi todos los microhábitas terrestres como hojarasca, flores, frutos, musgos, troncos en descomposición, excremento, etc y se asocian a nidos de otros animales, habitando desde los cero metros hasta alturas de más de 4000 m; su papel ecológico se relaciona con su capacidad predadora que contribuye a reducir las poblaciones de otros insectos en el suelo (Navarrete y Newton 1996).

Los grupos de ácaros Trombidiformes sp1 y Mesostigmata sp1, también hacen parte de la segunda clase (Figura 4) y se caracterizan porque pueden llegar a representar hasta un 85% del número total de ácaros en el suelo, debido principalmente a su amplia distribución geográfica y diversidad de hábitos alimentarios, lo cual es una ventaja competitiva para asegurar la reproducción y supervivencia, permitiéndoles ser más abundantes que otros grupos; se constituyen como un grupo de organismos depredadores, que regulan las comunidades de pequeños insectos fitófagos, nemátodos y otros ácaros (Iraola, 2001).

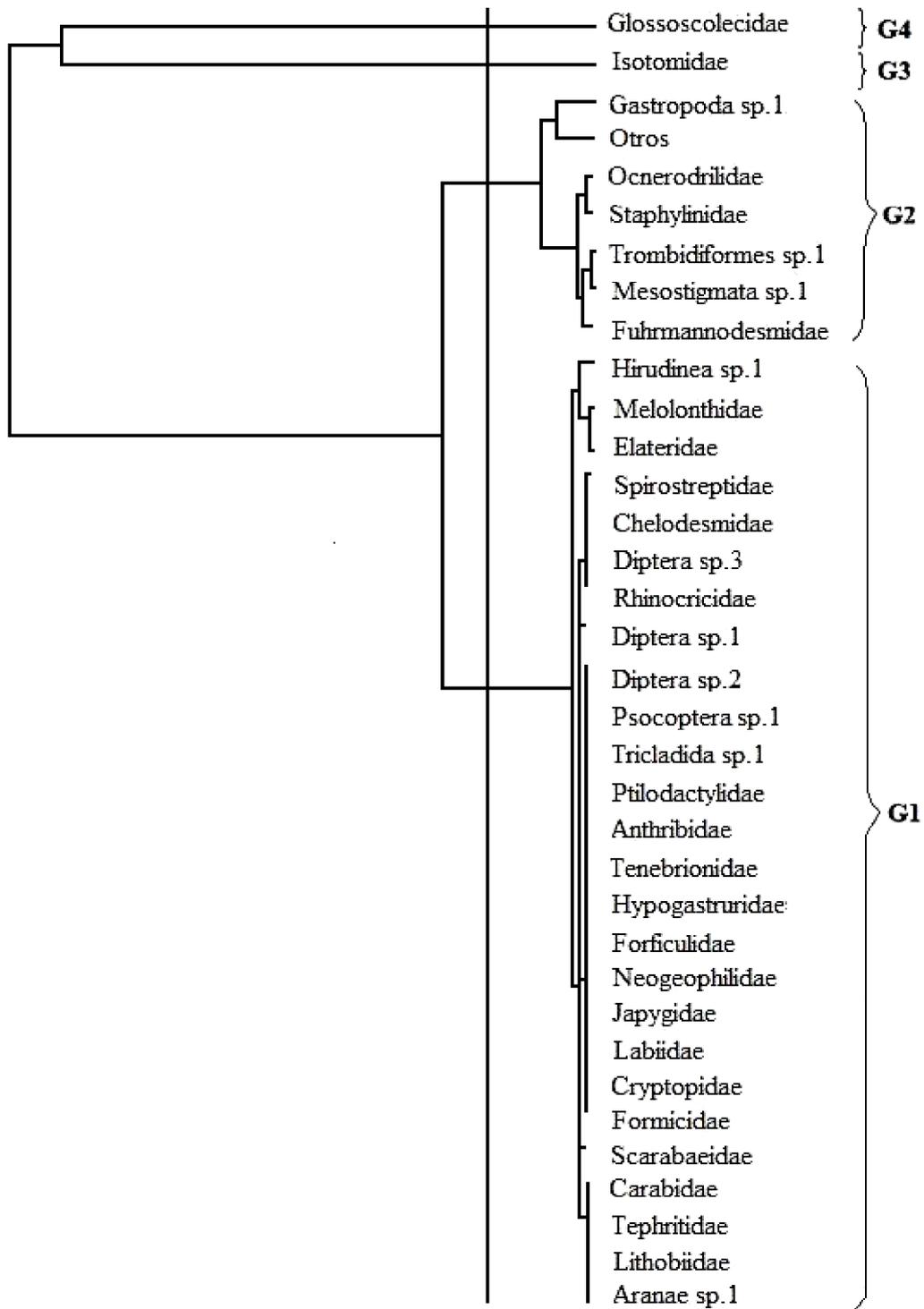
El grupo Gastropoda sp1 pertenece a la clase dos (Figura 4) y se cataloga como parte de la fauna edáfica secundaria, ya que aporta grandes cantidades de residuos vegetales pre-digeridos, como un preámbulo al desarrollo de los ciclos bioedafológicos; además, la producción de sus abundantes secreciones mucosas, propicia la formación de agregados del suelo bien estructurados y estables a la acción del viento y el agua (Chamorro, 2001)

La familia Fuhrmannodesmidae también forma parte de la clase dos y constituye un grupo de diplópodos conocidos comúnmente como milpiés que se adaptan a diversos hábitats, desde ambientes áridos, semiáridos y templados hasta ecosistemas tropicales y participan en los procesos de descomposición de materiales vegetales (Coleman *et al*, 2004).

Tabla 6. Promedio general y por grupos de las variables de abundancia y biomasa en las tres zonas de estudio, vereda la Alianza, municipio de Pasto.

VARIABLE	PROMEDIO GENERAL	PROMEDIO CLASE 1	PROMEDIO CLASE 2	PROMEDIO CLASE 3	PROMEDIO CLASE 4
Abundancia 0 – 10 años	949.02	32	1138.28	23952	464
Biomasa 0 – 10 años	1.65	0.17	3.92	2.32	23.68
Abundancia 10 – 20 años	924.34	41.84	1353.14	20912	880
Biomasa 10 – 20 años	1.80	0.45	3.37	1.552	26.224
Abundancia > 20 años	1217.82	91.69	3970.28	9536	2912
Biomasa > 20 años	8.85	0.70	7.58	3.008	235.568

Figura 4. Clasificación jerárquica de la macrofauna asociada al cultivo de cebolla, vereda la Alianza, municipio de Pasto.



La tercera clase está conformada únicamente por la familia Isotomidae (Figura 4) que representan el 50.28 % (54 400 individuos) del total de la macrofauna colectada en todo el muestreo y se destaca porque el promedio de la abundancia en los tres tiempos de uso del suelo es mayor al promedio general (Tabla 6), debido a la dominancia de individuos en cada zona de estudio y en los tres estratos del perfil del suelo. Resultados similares encontraron Ospina *et al*, (2003) en su investigación sobre los colémbolos asociados con cultivos de pastos en tres zonas de vida de Holdridge en Antioquia, al reportar que la familia Isotomidae fue la más abundante en todo el muestreo (642 individuos, 52.8 %), atribuyendo este hecho al amplio rango de adaptación que despliegan las especies de esta familia en diversos hábitats. Según Vásquez y Palacios (1990), los isotómidos ocupan gran variedad de hábitats y es posible encontrarlos en los medios litorales, las arenas de las playas, distintos tipos de hojarasca de bosques, huertos frutales, en suelos áridos, húmedos y en remansos de agua.

La cuarta clase está compuesta por la familia Glossoscolecidae (Figura 4) que representa el 66.18 % (285.472 g.p.f m⁻²) del total de la biomasa colectada (431.96 g.p.f m⁻²) y se caracteriza porque el promedio de la biomasa es mayor al promedio general en las tres zonas de estudio (Tabla 6). Según Lee (1985), las lombrices son el grupo de macrofauna más abundante en el suelo en cuanto a biomasa se refiere, debido a que ingieren una gran cantidad de materiales orgánicos y minerales. Para Brown *et al*, 1999, las lombrices constituyen del 60 al 90 % de la biomasa total de los macroinvertebrados del suelo y se ha observado que una biomasa mínima de 30 g m⁻² de lombrices de tierra produce efectos positivos sobre el suelo y la productividad vegetal. Estos resultados coinciden con los reportados por Rodríguez 2005, quien reportó el mayor aporte de biomasa por parte de las lombrices de tierra tanto en la plantación de pino (12.33 g.p.f m⁻²) como en la sucesión natural (9.58 g.p.f m⁻²).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La mayor abundancia, biomasa y biodiversidad de organismos, se presentaron en el suelo con más de 20 de años de uso con 42.624 individuos m^{-2} , 310 g.p.f. m^{-2} y un índice de diversidad de Shannon de $H' = 2.12$.

En los tres usos del suelo evaluados la mayor abundancia de organismos se presentó en los 10 primeros cm de suelo, con 43.616 organismos m^{-2} , disminuyendo, a medida que se aumenta la profundidad de muestreo. El segundo estrato de 10 a 20 cm de suelo, presentó la mayor biomasa con 161 g.p.f. m^{-2} . En cuanto a riqueza y diversidad, el primer estrato presentó los valores más altos.

Existe una relación directamente proporcional entre el tiempo de uso del suelo y las variables de diversidad, abundancia y biomasa de organismos, dado que un monocultivo de mayor antigüedad de establecimiento y en ausencia de rotaciones se encuentra sometido a la constante incorporación de materia orgánica, lo que favorece la especialización de algunos organismos en particular.

AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, a todas las personas que colaboraron en la realización de este trabajo de investigación, en especial a la bióloga Martha Romo por su colaboración en la identificación de los organismos, a Edwin Rosero I.A por su asesoría en el desarrollo del trabajo y a los señores Eduardo y Mariela Matabanchoy por su apoyo en campo.

BIBLIOGRAFÍA

ANDERSON, J; INGRAM, J. 1993. Tropical soil biology and fertility programme. A handbook of methods. Wallingford: second edition. CAB International, TSBF. p 44-46.

ASSAD, M. 1997. Fauna do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. (Ed.). Biología dos solos dos cerrados. Planaltina: EMBRAPA-CPAC. p 363 - 443.

BIO-DAP (BIODIVERSITY DATA ANALYSIS PACKAGE). 1988. Statistics from the same name Anne Magurran.

BORROR, D., TRIPLEHORN, C., JOHNSON, N. 1992. An Introduction to the Study of Insects. Sixth Edition. United States of America. 875 p.

BROWN, G; PASHANASI, B., VILLENAVE, C., PATRON, J., SENAPATI, B., DIRI, S., BAROIS, I., LAVELLE, P., BLANCHART, E., BLAKEMORE, R., SPAIN, A; BOYER, J. 1999. Effects of earthworms on plant production in the tropics. En: Lavelle, P., Brussaard, L Hendrix, PF Eds. CAB International. Wallingford. p 87 – 147.

CASTELLANOS, P. 1999. Manejo integrado del cultivo de cebolla de rama *Allium fistulosum.*, para el departamento de Risaralda. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Maestría en Agroecología. Pereira, Caldas. 120 p.

CASTRO, J., BURBANO, H., BONILLA, C. 2007. Abundancia y biomasa de organismos edáficos en tres usos del terreno en el altiplano de Pasto, Colombia. En: Acta Agronómica. Colombia. Vol 56. p 127 – 130.

CISIA – CERESTA, 1998. SPAD.Version 3.5. Manual de Prise en Main – Mande (France).

COLEMAN, D., CROSSLEY, D; HENDRIX, P. 2004. Fundamentals of soil ecology. Second Edition. Institute of Ecology. University of Georgia. Athens, Georgia. 386 p.

CORAL, D. 1998. Impacto de las prácticas agrícolas sobre la macrofauna del suelo en la cuenca alta del Lago Guamuéz, Pasto, Colombia. Tesis M. Sc. Universidad Nacional de Colombia. 101 p.

CHAMORRO, C. 2001. El suelo: maravilloso teatro de la vida. Revista académica colombiana de las ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Vol 25. p 483 – 494.

ERAZO, H. 1999. Estudio de la macrofauna del suelo bajo plantaciones de pino (*Pinus Patuca Schlech. Et Cham.*) y Eucaliptos (*Eucalyptus Globulus Labill.*) en un suelo del altiplano de Pasto. Trabajo de grado (Ingeniero Agroforestal). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. San Juan de Pasto. 100 p.

GARCIA, A. 1998. La degradación de suelos, un obstáculo para el desarrollo sostenible. En: Manejo de suelos e impacto ambiental. Memorias. IX Congreso colombiano de la ciencia del suelo. Paipa, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p 95 – 105.

HENROT, J; BRUSSAARD, L. 1997. Abundance, and cast quality of earthworms in an acid ultisol under alley-cropping in the humid tropics. In: Applied Soil Ecology 6. p 169 – 179.

IRAOLA, V. 2001. Introducción a los ácaros: hábitats e importancia para el hombre. En: Bol. S.E.A. Universidad de Navarra. Pamplona. Vol 28. p 141 - 146.

JIMENEZ, J., MORENO, A., DECAENS, T., LAVELLE, P., FISHER, M., THOMAS, R. 1998. Las comunidades de lombrices en las sabanas nativas y en los pastizales introducidos de los Llanos Orientales de Colombia. Biology and Fertility of Soils. Vol 28. p 101 – 110.

LAVELLE, P., DANGERFIELD, C., FRAGOSO, V., ESCHENBRENNER, D., LOPEZ, PASHANASI, B; BRUSSAARD. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In. Wooper, P.L. and M.J. Swif. The biological management of tropical soil fertility. TSBF. A Wiley-Sacey Publication. p 137 - 169.

LAVELLE, P., DECAENS, T., AUBERT, M., BAROT, S., BLOUIN, M., BUREAU, F., MARGERIE, P., MORA, P; ROSSI, J. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. European Journal of soil biology. Vol 42. p 3 -15.

LEE, K. 1985. Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press. Nueva York. 411 p.

MAGURRAN, A. 1988. Ecological diversity and it's measurement. Princeton University Press. New Jersey. 179 p.

NAVARRETE, J., NEWTON, A. 1996. Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. In: Llorente, J., García, A y González, E (Eds). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. p 369 - 380.

NELSON, J. 1962. The extraction of lumbricidae from soil with special reference to the hand sorting method. In: Progress in soil zoology. London, butherworths. p 294 - 299.

OSPINA, C., SERNA, F., PEÑARANDA, M; SERNA, S. 2003. Colémbolos asociados con cultivos de pastos en tres zonas de vida de Holdridge en Antioquia (Colombia). Revista Agronomía colombiana. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá. Vol 21. p 129 – 141.

PEREZ, E., VASQUEZ, M., GONZALEZ, D., PIMIENTA, E., NAJERA, M; TORRES, P. 2004. Sistemas de producción de Maíz y población de macrofauna edáfica. En: Terra Latinoamericana. Universidad Autónoma de Chapingo. México. Vol 22. p 335-341.

PINZON, H. 2004. La cebolla de rama (*Allium fostulosum*) y su cultivo. Produmedios Editores. Tibaitatá, Colombia. 40 p.

PRIETO, D., GONZÁLEZ, V; TCHERVA, T. 2005. Microartrópodos asociados a la hojarasca de un bosque semideciduo de Bacunayagua, Matanzas, Cuba. Rev. Biol. La Habana. Vol 19. p 57 – 65.

RODRIGUEZ, C. 2005. Caracterización físico-química del suelo en tres coberturas vegetales y su relación con la macrofauna del suelo en la vereda la Josefina Municipio de Pasto, Nariño. Trabajo de grado (Ingeniera Agroforestal) Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. San Juan de Pasto. 89 p.

SALUSO, A., ERMACORA, O., ROMERO, C; DEBONA, C. 2004. Variación estacional de la abundancia y diversidad de la artrópodo-fauna edáfica en dos agroecosistemas. Argentina. <http://www.inta.gov.ar/parana/info/saluso%20&20ermacora>>

SANCHEZ DE PRAGER, M. 2003. Actividad biológica en la rizosfera del maracuyá en diferentes sistemas de manejo, estados de desarrollo y condiciones fitosanitarias. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 230 p.

SAS: Institute. Inc., SAS/STAT. User`s guide, version 9.1. Carey, NC, 1998.

Secretaria de Agricultura y Medio Ambiente. Consolidado Agropecuario. 2006. 85 p.

SHANNON, C; WEAVER, W. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University Illinois Press, Urbana, IL.

SWIFT, M., HEAL, O; ANDERSON, J. 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Oxford, Blackwell. 372 p.

VÁSQUEZ, M; PALACIOS, J. 1990. Nuevos registros y aspectos biogeográficos de los colémbolos de la Sierra de la Laguna, B.C.S., México. Folia Entomológica Mexicana. Vol 78. p 5 - 22