

EVALUACIÓN DE LA MACROFAUNA EDAFICA EN PARCELAS
EXPERIMENTALES ENMENDADAS CON BIOSOLIDOS EN DIFERENTE
PROPORCION EN EL AULA AMBIENTAL SORATAMA LOC. USAQUEN
BOGOTÁ D.C

MARTHA CECILIA MELO FRANCO

José Ignacio Barrera, Director

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito parcial

Para optar el título de

Bióloga

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOLOGIA

Bogotá D.C

Julio 14 de 2010

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la resolución N 13 de julio de 1946.

La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de grado. Solo velara porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia.

EVALUACIÓN DE LA MACROFAUNA EDAFICA EN PARCELAS
EXPERIMENTALES ENMENDADAS CON BIOSOLIDOS EN DIFERENTE
PROPORCIÓN EN EL AULA AMBIENTAL SORATAMA LOC. USAQUEN
BOGOTÁ D.C

MARTHA CECILIA MELO FRANCO

APROBADO

José Ignacio Barrera, Biólogo MSc
Director

Sandra Patricia Montoya Villareal
Par Académico

EVALUACIÓN DE LA MACROFAUNA EDAFICA EN PARCELAS
EXPERIMENTALES ENMENDADAS CON BIOSOLIDOS EN DIFERENTE
PROPORCIÓN EN EL AULA AMBIENTAL SORATAMA LOC. USAQUEN
BOGOTÁ D.C

MARTHA CECILIA MELO FRANCO

APROBADO

Ingrid Schuler Phd., Bióloga
Decana Académica

Andrea Patricia Forero,
Bióloga, Directora de la
Carrera

Agradecimientos

El presente trabajo tuvo termino gracias a la colaboración de varias personas que ha lo largo de mi carrera ofrecieron su apoyo incondicional, al igual de personas que con su experiencia fue posible finalizar este trabajo y son.

- A mi familia, por su paciencia y apoyo incondicional en todo sentido.
- A mis amigas y compañeros de carrera por sus palabras de comprensión y apoyo.
- Al profesor José Ignacio Barrera, de la Pontificia Universidad Javeriana por la oportunidad ofrecida, paciencia, aporte y colaboración en la dirección de este trabajo de grado.
- A la bióloga Sandra Montoya por su colaboración y dedicación como par académico.

Tabla de contenido

Resumen	
Abstract	
1. Introducción	13
2. Marco Teórico	14
2.1 Antecedentes Nacionales del Uso de Biosólidos	14
2.2 Extracción minera	14
2.2.1 Minería a cielo abierto	15
2.4. Restauración Ecológica	19
2.5. Uso de biosólidos como enmienda para la recuperación de suelo	20
2.5.1 Clasificación de los biosólidos	21
2.5.2 Alternativas de aprovechamiento	21
2.5.3 Cualidades	21
2.5.4 Efecto de la aplicación de biosólidos sobre la fauna edáfica	22
3. Formulación del problema y justificación	23
3.1 Formulación del problema	23
3.2 Justificación	23
4. Pregunta de investigación	23
5. Objetivos	23
6. Diseño experimental	24
6.1 Obtención de datos	25
7. Métodos	25
8. Análisis de información	25
8.1 Composición de la macrofauna edáfica	25
8.2 Riqueza	26
8.3 Índice de diversidad de Shannon (H')	26
8.4 Índice de equidad (E)	26
8.5 Índice de Simpson (D)	27
8.6 Prueba T	27
8.7 Índice de Usher	27
8.8 Prueba Tukey	28
8.9 Índice de disimilaridad de Bray – Curtis	28
8.10 Análisis de correspondencia canónica	28

9. Resultados	29
9.1. Composición de la macrofauna edáfica adulta colectada por el método de apiques (suelo)	29
9.1.1 Diversidad por apiques.	32
9.1.2 Equidad por apiques	33
9.1.3 Dominancia por apiques	34
9.1.4 Distribución vertical por apique	35
9.1.5 Análisis de correspondencia canónica por apique	36
9.2 Composición de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colectada por apiques (suelo)	37
9.2.1 Diversidad por apique	41
9.2.2 Equidad por apique	41
9.2.3 Dominancia por apique	42
9.2.4 Distribución vertical por apique	43
9.2.5 Análisis De correspondencia canónica por apique	44
9.2.6 Similaridad por apiques	46
9.3 Composición de la macrofauna edáfica adulta colectada en trampas de caída (pitfall)	46
9.3.1 Diversidad en trampa de caída	49
9.3.2 Equidad en trampa de caída	50
9.3.3 Dominancia en trampa de caída	50
9.3.4 Análisis de correspondencia canónica trampa de caída	51
9.4 Composición de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colectada en trampa de caída (pitfall)	52
9.4.1 Diversidad en trampa de caída	55
9.4.2 Equidad en trampa de caída	56
9.4.3 Dominancia en trampa de caída	56
9.4.4 Análisis de correspondencia canónica	57
9.4.5 Similaridad en trampa de caída	58
9.5 Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica adulta colectada por apiques (suelo)	58
9.6 Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colectada por apiques (suelo)	62
9.7 Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica adulta colectada en trampa de caída (pitfall)	65

9.8 Riqueza de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colectada en trampa de caída (pitfall)	71
10. Discusión	74
11. Conclusiones	78
12. Recomendaciones	79
13. Bibliografía	79

Resumen

Se realizó el seguimiento en 2 momentos a la macrofauna edáfica en parcelas experimentales enmendadas con biosólidos en diferentes proporciones en el Aula Ambiental Soratama Localidad Usaquén, Bogotá D.C. Los tratamientos consistieron en mezclas de biosólidos y estériles de la siguiente manera: tratamiento 1, (1:8), tratamiento 2, (1: 4), tratamiento 3 (1:3) y control (0:1) cada uno con tres repeticiones. Los tratamientos fueron dispuestos en parcelas de 4 x 4.5 metros completamente al azar en el terreno. experimentales en un diseño completamente aleatorio. La macrofauna edáfica fue colectada mediante apiques de 20 cm x 20 cm x 30 cm divididos en profundidades de 0 a 15 y de 15 a 30 cm y 5 trampas de caída (pitfall) en cada parcela. Los muestreos se realizaron 30 meses después del experimento. Los resultados evidencian una baja similaridad entre tratamientos con excepción de los tratamiento 1 y 3 (0.80%) La macrofauna edáfica colonizadora fue caracterizada por los índices de riqueza, diversidad, equidad y dominancia de especies. El repoblamiento de la macrofauna edáfica se observó en mayor proporción en el segundo muestreo en las parcelas tratadas con biosólidos. Las familias más abundantes en estado adulto en los diferentes tratamientos fueron Staphylinidae y Lycosidae. La aplicación de biosólidos con el tiempo y en mayor proporción favorece la llegada de la macrofauna edáfica 30 meses después de su aplicación.

Abstract

This investigation was done in two times at soil macrofauna in experimental plots in different proportions sewage sludge and arids: treatment 1, (1:8), treatment 2, (1: 4), treatment 3 (1:3) y control (0:1) in the Soratama classroom each one whit three replicates. The collection method for soil macrofauna was based on the excavation of three monoliths of 20 cm x 20 cm x 30 cm, separated into two layer: 0 to 15 and 15 to 30 cm and pitfall. The samples were performed 30 months afterwards experiment. The results demonstrate a low similarity between treatments except treatment 1 and 3 (0,80%) the soil macrofauna was characterized by the indices of wealth, diversity, equity and dominance of species. The repopulation of the soil macrofauna was observed in greater proportion in the second sampling in the parcels dealt with sludges. The abundant families in adult state in the different treatments were Staphylinidae and Lycosidae. The application of biosolidos with time and in greater proportion favors the arrival of the soil macrofauna 30 months after its application.

1. Introducción

Los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá han sido objeto de múltiples intervenciones antrópicas tales como: tala de arboles, incendios forestales en épocas secas y extracción de materiales a cielo abierto de arcillas, arenas y piedras para la construcción de vivienda y la industria (Delgado y Mejía, 2002, Salamanca y Camargo, 2002), la minería ha alterado y transformado considerablemente dichos ecosistemas eliminando los compartimientos de la vegetación, fauna y suelo.

En consecuencia, las posibilidades para que la vegetación y la fauna edáfica se establezcan es casi nula debido a la alteración y el bajo contenido de materia orgánica (Brown *et al.*, 2001).

Teniendo en cuenta la alteración de la estructura de los ecosistemas de los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá como consecuencia de la minería a cielo abierto, se han iniciado procesos para su recuperación con experiencias piloto con el uso de enmiendas orgánicas como los biosólidos, que son un producto sólido de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Minor & Norton, 2004). Los biosólidos presentan alto contenido de materia orgánica (M.O), fósforo (P) y potasio (K) (BAS, 2002). Y dependiendo de su origen pueden presentar más o menos patógenos y metales pesados, este tipo de material cuando es mezclado con estériles (arena) en diferentes proporciones contribuirá posiblemente a la recuperación de suelos degradados.

En consecuencia, se pretende evaluar el estado actual de la macrofauna edáfica en parcelas experimentales enmendadas con biosólidos 30 meses después de su implementación, para ello se definió y comparó la composición y estructura según las proporciones implementadas y su efecto sobre la macrofauna edáfica. Sabiendo que si el hecho de tener una proporción más alta o más baja de biosólido con respecto al estéril (tratamientos) favorece o no la colonización de la macrofauna edáfica, para saber la proporción más adecuada ha de ser usada.

2. Marco Teórico

2.1 Antecedentes Nacionales del Uso de Biosólidos.

- Guzmán y Campos (2004), determinaron indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. Se Concluyo que el biosólido producido por la Planta de tratamiento de Aguas Residuales El Salitre puede utilizarse para usos agrícolas o no agrícolas con las debidas restricciones de aplicación, para que no presenten un riesgo de salud pública.
- Granados (2005), se evidencia a través de la macrofauna edáfica que los biosólidos pueden ser una buena alternativa de enmienda orgánica para el restablecimiento del suelo en áreas disturbadas por extracción a cielo abierto.
- Guacaneme (2005), concluyo que según las proporciones aplicadas, el biosólido aporta grandes cantidades de fósforo y calcio. Por lo tanto, el aumento de estos nutrientes y del p H pueden ser las contribuciones más significativas del biosólido como enmienda orgánica en la recuperación de suelos disturbados por actividad minera y entre más biosólido sea aplicado al suelo mayor será el porcentaje de porosidad, de humedad, y así mismo, disminuirá la densidad aparente; lo cual contribuirá a mejorar el movimiento de agua y los nutrientes del suelo, los cuales influyen en el desarrollo radical y la producción de plantas.
- Ochoa (2005), determino el efecto de la aplicación de biosólidos, sobre el desarrollo de la vegetación en las primeras etapas sucesionales, en la Cantera Soratama, Localidad de Usaqué, Bogotá D.C. Concluyo que existen diferencias entre control y los tratamientos con biosólidos, en términos de cobertura y de los índices de diversidad, en cada uno de los muestreos.

2.2 Extracción minera.

La extracción minera es un tipo de disturbio que tiene como propósito extraer materiales como: arenas, arcillas, grav¹² piedra, entre otros, y que gracias a sus propiedades físicas y químicas, son de gran ayuda en la industria de la construcción (CAR, 1980; Correa, 2000).

En Bogotá D.C, la extracción minera se adelanta con el criterio de obtener los materiales al menor costo, sin considerar la estabilidad del terreno y la misma permanencia de la fuente de materiales (Amórtegui, 2003) y que adicionalmente son extraídos bajo el sistema a cielo abierto (Correa, 2003) generando un fuerte impacto visual.

En consecuencia, en Bogotá existen actualmente 33 predios de los cuales 17 de ellos están abandonados y 16 de ellos son predios inactivos y que como resultado la industria extractiva según los rangos propuestos por el Ministerio de Minas y Energía corresponde en un 73 % a pequeña minería ubicada en la localidad de Rafael Uribe, San Cristóbal, Usme y Ciudad Bolívar, las actividades correspondientes a mediana minería corresponden a un 17 % y se ubican principalmente en la localidad de Usaquén, y finalmente las actividades de gran minería con un 10 % representadas por la localidad de Tunjuelito (Baez, 2003).

Históricamente, esta actividad ha causado una degradación casi irreparable para el ambiente que nos rodea, como lo son Cerros Orientales, que al ser sus terrenos abandonados después de tal explotación y extracción de materiales, quedan sin posibilidad de aprovechamiento al no realizar proyectos de recuperación de zonas degradadas que reparen el daño causado.

2.2.1 Minería a cielo abierto.

La extracción minera y su actividad es clasificada en dos grupos de acuerdo a su explotación: las subterráneas y a cielo abierto. Este último grupo funciona de manera transitoria, en lugares donde existen materiales, con interés de tipo comercial para la actividad humana. Además, este grupo es un factor tensionante generador de disturbios, que afecta los compartimientos de los ecosistemas como la vegetación, fauna y suelo (Barrera, J. 2009).

En consecuencia, las actividades generadas por la minería a cielo abierto han formado canteras de donde han sido extraídos rocas y minerales no disgregados como: gravas gravillas, arcillas, arenas y piedra. Utilizados para la construcción de obras como: vías, centros comerciales y viviendas (Correa, 2003).

2.2.2 Canteras.

De acuerdo con el artículo 112 del Código Colombiano de Minas, una cantera se define como "un sistema de explotación a cielo abierto que permite la explotación y extracción de rocas y minerales no disgregados utilizados como materiales de construcción" (Correa, 2000).

En general se conocen tres técnicas, una es la manual y consiste en la utilización de picas y palas, la segunda es la mecánica que consiste en el uso de buldócer y/o retroexcavadoras. Estas son también usadas al mismo tiempo (DAMA, 2002) y una tercera denominada semimecanizada (Correa, 2003).

2.2.3 Impactos generados.

Según Correa (2000), Salamanca & Camargo (2002) y Báez (2003) la extracción minera y en consecuencia la formación de canteras genera los siguientes impactos sobre el ecosistema y el ambiente tales como:

- Contaminación del aire por gases provenientes de los equipos y maquinaria, contaminación de aguas superficiales y de acuíferos.
- Contaminación sonora proveniente de los equipos y maquinaria empleada en la cantera.
- Disminución o pérdida total de la flora que en consecuencia genera fuertes fluctuaciones de la humedad y la temperatura, la transpiración se incrementa y la fauna no tiene donde establecerse.
- Eliminación del suelo y sus descomponedores, que alteran la composición física y química, que como resultado se obtiene un sustrato con deficiencias nutricionales, concentraciones mínimas o ausentes de materia orgánica, pérdida de humedad entre otras.
- Alteración de las geoformas del paisaje como consecuencia de la excavación que desestabiliza y favorece el desplome y erosión del terreno entre otros.

2.3. Fauna edáfica.

La fauna edáfica hace referencia a todo animal que se aloja en el suelo. Esta fauna tiene un papel importante en la productividad de los ecosistemas gracias a la capacidad de modificar el medio superficial y edáfico del suelo (Brown et al., 2001) de esta manera, el ciclo de los nutrientes de las plantas que se encuentran en el suelo se promueve (Wallwork, 1976).

2.3.1 Clasificación de la fauna edáfica.

Según la función de la fauna edáfica en el ecosistema y su relación en tamaño, los diferentes individuos dentro de esta clasificación juegan un papel importante en el suelo y se clasifican en:

- **Microfauna:** Integrada por animales que viven en el agua que se encuentra suspendidos en las partículas del suelo. Su tamaño promedio es menor a 0.2 mm de diámetro. A este grupo se unen los protozoarios, rotíferos y nematodos (Fragoso et al., 2001).
- **Mesofauna:** Integrada por animales como microartropodos, pequeños Oligochaeta y Enchytraeidae. Su tamaño promedio esta entre 0.2 a 2mm de diámetro (Fragoso et al., 2001).
- **Macrofauna:** Son invertebrados que se mueven activamente a través del suelo y que pueden elaborar galerías y cámaras en las cuales viven termitas, lombrices y artrópodos como los principales componentes de este grupo. Su tamaño es de más de 2 mm (Lavelle et al., 1995) y fácilmente visibles en la superficie o interior del suelo (Brown et al., 2001).

2.3.2 Clasificación de la macrofauna edáfica.

Siendo este grupo el objeto de estudio, se especificara su clasificación a continuación según la función que en el suelo realizan (Brown et al., 2001).

- **Geófagos:** incluyen las lombrices endógenas y los termes omnívoros que ingieren y se alimentan principalmente de la materia orgánica del suelo a diferentes niveles de humificación y/o de raíces muertas.

- Detritívoros: son descomponedores o desintegradores que se alimentan de material vegetal o animal (carroñeros o necrófagos) en distintos grados de descomposición (detritos). Incluyen varios micro y macro-artrópodos, las lombrices epigeas y anécicas, caracoles y larvas de moscas, entre otros.
- Fitófagos y rizófagos: se alimentan de plantas vivas (raíces y/o partes aéreas) e incluyen algunos micro y macro-artrópodos y caracoles.
- Depredadores: son principalmente carnívoros y se alimentan de otros organismos, incluyendo varias familias de escarabajos, hormigas, ciempiés, arácnidos y escorpiones.
- Omnívoros: en este grupo se incluyen aquellos individuos que comen todo tipo de alimento, tanto de origen vegetal como animal.
- Parásitos: son organismo que viven a cuenta de otro e incluyen algunas moscas y nemátodos.

Además, la macrofauna integra mas de 20 grupos taxonómicos tales como los siguientes: Cochinillas (Isopoda), escarabajos (Coleóptera), arañas (Arachnida) grillos (Orthoptera), caracoles (Mollusca), milpiés (Diplopoda), hormigas (Formicidae), cienpies (Chilopoda), tigeretas (Dermaptera), Diplura, Homopteros, Oligochaeta, como las lombrices de tierra y Echytreidos, larvas de Díptera, Lepidoptera y Coleoptera (Brown *et al.*, 2001).

2.3.3 Importancia y función de la macrofauna edáfica.

El suelo es el componente clave en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres. En el se llevan a cabo dos procesos vitales: la descomposición y el flujo de nutrientes, que son controlados principalmente por la actividad biológica de la fauna edáfica que

depende en última instancia de la temperatura y la humedad (Brown et al., 2001; Fragoso, 2001).

La macrofauna edáfica es considerada la más importante dentro de la clasificación de la fauna edáfica debido a que juegan un papel importante pues sus hábitos alimenticios (fragmentación), de excavación y como bioturbadores del suelo, son importante para la estructura del suelo y en consecuencia el soporte de las plantas (Fragoso, 2001).

2.3.4 Efecto de la extracción minera sobre la fauna edáfica.

La pérdida de la cobertura vegetal y del suelo en los terrenos afectados por la extracción minera, tiene como consecuencia un fuerte impacto sobre la fauna, la cual se ve limitada al perder su hábitat natural como fuente de protección y alimento (Álvaro y Gómez, 2000).

En el caso de la macrofauna al ser más sensible que la mesofauna y la microfauna es la más afectada bajo condiciones ambientales desfavorables. Las lombrices por ejemplo son las primeras en desaparecer al existir temperaturas altas y periodos de sequía entre otros individuos de la macrofauna edáfica (Lavelle et al., 1995).

La macrofauna edáfica es afectada precisamente porque su tamaño requiere un espacio apropiado para su desplazamiento. Sin embargo, al ser el suelo compactado con la maquinaria usada para la extracción de materiales restringe el crecimiento de raíces, movimiento de aire y agua dentro del suelo, los cuales son esenciales la supervivencia de la macrofauna (Hernández, 1996)

2.4. Restauración Ecológica.

Al definir el estado actual de los cerros orientales de la ciudad de Bogotá D.C y los

problemas que se han ocasionado, si no se realiza un control oportuno a la extracción minera que se realiza en ellos, las consecuencias serán graves para las comunidades que los habitan en Cerros Orientales y los habitantes de la ciudad. Por eso se deben implementar herramientas para conservar estos ecosistemas como lo es la Restauración Ecológica.

La Ecología de la Restauración, por su parte, es una ciencia reciente, heurística, cuyos orígenes se remontan hacia finales de los años 80. Nace como una rama paralela a la ecología básica y tiene como objetivo estudiar, analizar e interpretar los fenómenos que ocurren durante el restablecimiento en las áreas disturbadas (Barrera & Ríos, 2002).

Este es un proceso asistido que busca conducir a un ecosistema degradado hacia sus condiciones primigenias (Mendoza, 2001). Si embargo, esto muchas veces no es posible, ya que como afirman Luhn y Pimm (1993), existe una gran posibilidad que aún utilizando todas las especies no se puedan restablecer las comunidades inicialmente deseadas (Mendoza, 2001).

La restauración ecológica completa es posible que sea una meta inalcanzable, por eso se debe tener en muy claro que tan cerca de la situación deseada se quiere y se puede llegar. Para cada atributo ecosistémico se deben tener unos objetivos claros, alcanzables y unas metas acordes con periodos particulares de tiempo (Mendoza, 2001).

Sin embargo, en Colombia se han realizado proyectos para restaurar ecosistemas disturbados con la utilización de biosólidos, arrojando resultados positivos pues aparte que son una enmienda orgánica se esta eliminando en parte el problema de la eliminación y aprovechamiento de aguas residuales que son un problema para los ecosistemas, especialmente los acuáticos.

2.5 Uso de biosólidos como enmienda para la recuperación de suelo.

Para restablecer las condiciones que anteriormente tenían estos terrenos se han creado una serie de técnicas y estrategias, propuestas por la Restauración ecológica y es el uso de biosólidos como fertilizante o enmienda orgánica debido a sus cualidades para favorecer el crecimiento de la vegetación y establecimiento de la fauna.

Se define biosólido como el producto originado después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de las aguas residuales. La estabilización se realiza para reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores. Gracias a este proceso, el biosólido tiene aptitud para utilización agrícola y forestal y para la recuperación de suelos degradados (Daguer, 2003).

En la restauración son un gran aporte para devolverle al suelo sus propiedades tanto físicas como químicas. No obstante, el uso de biosólidos debe ser racional siendo necesario un estudio de impacto ambiental (E.I.A) para identificar los impactos ambientales causados por la aplicación de biosólidos y formular las medidas y actividades de manejo ambiental necesarios para su mitigación.

2.5.1 Clasificación de los biosólidos.

Los biosólidos se han clasificado para restringir su uso en dos clases (Daguer, 2003):

- Clase A: pueden ser usados sin ninguna restricción (cultivos de consumo directo).
- Clase B: pueden ser usados en recuperación de suelos, plantaciones forestales forestales, cultivos que no se consuman directamente y cobertura de rellenos sanitarios.

2.5.2 Alternativas de aprovechamiento.

Dentro de las alternativas de aprovechamiento de los biosólidos (Daguer, 2003) se tiene:

- Agrícola y pecuaria.
- Recuperación de suelos degradados.
- Adecuación de zonas verdes (separadores viales, parques).
- Elaboración de abonos y enmiendas.
- Cobertura intermedia o final de rellenos sanitarios.
- Biorremediación de suelos contaminados.
- Elaboración de materiales de construcción.

2.5.3 Cualidades.

Estudios intensivos han demostrado que los lodos después de un intenso estudio (Alcañiz, 1998):

- Los lodos contribuyen a reducir la erosión del suelo de los taludes incluso antes del desarrollo de la cubierta vegetal.
- Los metales pesados quedan fundamentalmente inmovilizados en el suelo.
- Los contaminantes orgánicos se degradan progresivamente o quedan también inmovilizados.
- La materia orgánica de los lodos se descomponen con bastante rapidez y se incorpora a la fracción mineral del suelo.
- La presencia de los lodos hacen aumentar las poblaciones de lombrices aunque modifica la composición de especies de algunos artrópodos edáficos.
- Los lodos aceleran la vegetación de las zonas restauradas e influyen temporalmente en la composición florística.

- Se produce una considerable exportación de nitratos en los lixiviados del suelo durante los primeros meses de la aplicación de los lodos, este último se perfila como uno de los más negativos.

2.5.4 Efecto de la aplicación de biosólidos sobre la fauna edáfica.

La aplicación de biosólidos como técnica de la Restauración Ecológica ha sido un gran aporte para los ecosistemas degradados. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que así como ha sido una ventaja para la restauración de ecosistemas, pues la aplicación de biosólidos incrementa las poblaciones, la biomasa y la diversidad de la fauna como consecuencia atribuida a la transformación de la estructura del hábitat y al incremento de alimento gracias a los biosólidos (Barrera & Ríos, 2002).

La presencia de especies arbustivas y cobertura vegetal alcanzada en los tratamientos con biosólidos, muestra que el proceso de sucesión puede acelerarse con la adición de esta enmienda, al igual que puede ser usada para la recuperación de suelos (Ochoa, 2005), fundamental para la llegada de la vegetación que alberga la fauna edáfica.

Granados, 2005 concluyo que en las condiciones de campo ensayadas, la aplicación de biosólidos favorece y acelera el repoblamiento de la macrofauna edáfica, donde se sugiere que los tratamientos que presentan menor proporción de biosólidos permiten un mejor repoblamiento de la macrofauna edáfica y por tanto del restablecimiento de sus funciones ecológicas.

Además la biomasa vegetal de las zonas fertilizadas con lodos es claramente superior a la del control y la densidad de las poblaciones de artrópodos es mayor en las zonas tratadas con lodos pero que en dosis altas de estos residuos provocan un desequilibrio en la estructura de las poblaciones (Alcañiz, 2003).

Con respecto a lo anterior, desafortunadamente en un estudio para el aprovechamiento de biosólido como abonos orgánicos en pastizales áridos y

semiáridos, se encontró que la densidad, la diversidad y la riqueza de especies de plantas disminuyeron en la medida que se incremento la dosis de biosólidos. Sin embargo, como dato interesante de este trabajo es que la producción de biomasa de escobilla, una planta invasora, disminuyo hasta cero en parcelas tratadas al cuarto año (Jurado, 2004).

3. Formulación del problema y justificación

3.1 Formulación del problema:

Saber si los biosolidos pueden o no ser una buena enmienda cuando son usados en la restauración de áreas afectadas por minería a cielo abierto

3.2 Justificación:

Saber que tratamiento es el más adecuado para recomendar su uso en ecosistemas degradados, que tan buenos son los biosólidos y que proporción favorece la colonización de la macrofauna edáfica.

4. Pregunta de investigación

¿Es diferente el repoblamiento de la macrofauna edáfica en diferentes tratamientos 30 meses después de su implementación?

5. Objetivos

Objetivo general

- Evaluar el estado de la macrofauna edáfica en dos momentos en parcelas experimentales enmendadas con biosólidos en diferentes proporciones (tratamientos).

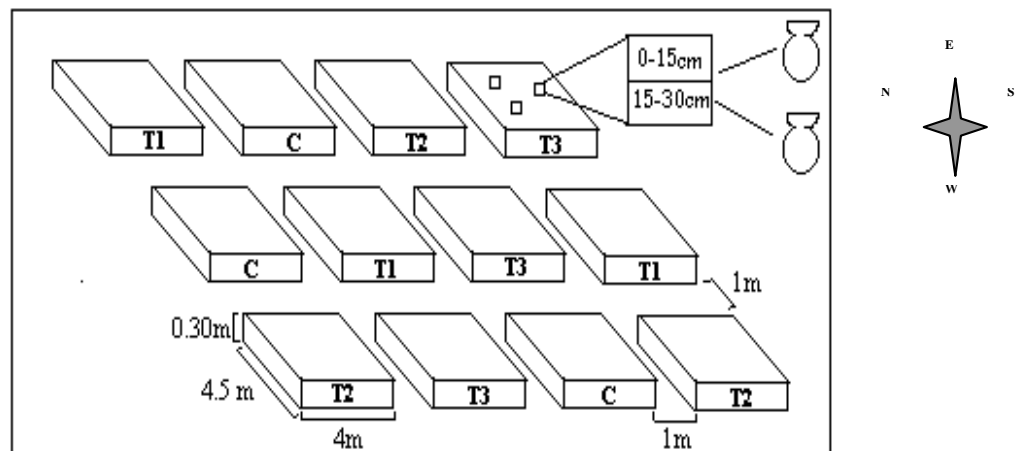
Objetivos específicos

- Definir la composición y estructura de la macrofauna edáfica en cada uno de los diferentes tratamientos.

- Comparar la composición y estructura de la macrofauna edáfica entre los diferentes tratamientos.
- Definir cual de las proporciones facilita mejor la colonización de la macrofauna edáfica.

6. Diseño experimental

El área experimental tiene un tamaño de 368 m^2 en ella se implementaron cuatro tratamientos que varían en la proporción de biosólido de la siguiente manera: tratamiento 1 (T1) con una proporción de 8 de estériles por 1 de biosólidos (8:1), tratamiento 2 (T2) con una proporción de (4:1), tratamiento 3 (T3) con una proporción de (2:1) y parcelas control (C) sin biosólido. Cada tratamiento tiene tres repeticiones para un total de 12 parcelas, cada una de 18 m^2 ($4.50 \text{ m} \times 4 \text{ m}$) y una profundidad de 30 cm (Figura 1).



* Tomado de: Granados, 2005.

Figura 1. Esquema del diseño experimental en la Cantera Soratama, donde se observa los apiques para muestras de suelo en dos profundidades.

6.1 Obtención de datos

Se realizaron 2 seguimientos: uno en el mes de julio 18 y el otro en el mes de octubre 20 de 2005 con una duración de 8 días aproximadamente. Es decir a los 30 y 33 meses, respectivamente de haber montado el diseño experimental.

7. Métodos.

De acuerdo con el diseño experimental anteriormente expuesto se tomaron muestras de suelo con un volumen de 20x20x30 cms dividido en dos profundidades de 0 – 15 cm y de 15 – 30 en 3 puntos definidos aleatoriamente y 5 trampas de caída (pitfall) colocadas en forma de cruces, para cada parcela experimental (Granados, 2003). Posteriormente, las muestras de suelo se depositaron en bolsas plásticas transparentes de 50 x 60 cm calibre 4, selladas y rotuladas con sus datos correspondientes y las trampas de caída fueron colectadas después de 48 horas después en frascos plásticos transparentes de 150 ml.

Posteriormente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Línea de Manejo y Conservación de Ecosistemas de la Pontificia Universidad Javeriana donde se preservaron y almacenaron para su extracción manual y preservados en frascos de vidrio de 5 cm³ o en frascos plásticos de 120 ml según su tamaño y rotulados con los datos de correspondientes para ser determinados a través de claves taxonómicas (Borror, 1992; Fernandez *et al.*, 1996; Galindo y Ibañez, 1980; Adis, 2002; Shoeman & Jocqué, 1997; Evans, 1984) hasta familia y orden. Los individuos fueron separados por morfos, basándose principalmente en tamaño.

8. Análisis de información:

8.1 Composición de la macrofauna edáfica.

Se realizó un listado de los órdenes, familias y morfoespecies de la macrofauna

edáfica colectada que colonizo el área experimental según el tratamiento implementado y se analizó y describió el cambio en la composición de la macrofauna edáfica en los 2 muestreos y del espacio en el área experimental de la cantera teniendo en cuenta los siguientes índices de diversidad y riqueza.

8.2 Riqueza:

Componente de diversidad específica; definida como el número de especies presentes en un área determinada (Smith & Smith, 2000), en este caso morfoespecies separadas de acuerdo a sus diferencias morfológicas (Oliver & Beattie, 1996).

A continuación, para conocer las diferencias de la macrofauna edáfica entre tratamientos (mezcla de biosólido y estéril), se utilizaron los índices de diversidad de Shannon, equidad y dominancia de Simpson para individuos en estado adulto e inmaduro colectados en cada una de las parcelas experimentales y su respectivo tratamiento.

8.3 Índice de diversidad de Shannon (H')

Este índice de diversidad asume que las especies están representadas en la muestra (Stiling, 1999), es decir todas las especies son colectadas al azar y representan la muestra y que su valor usualmente se encuentra entre 1.5 y 3.5 y solo raramente sobrepasa 4.5 (Magurran, 1989 Ramírez 1999) y se calcula de la siguiente manera:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

p_i = proporción de individuos encontrados en la especie i -enésima.

\ln = logaritmo natural.

8.4 Índice de equidad (E)

El índice de equidad considera que todas las especies son igualmente abundantes y que todas las especies en la comunidad se han contabilizado en la muestra. Este índice, toma valores entre 0 y 1.0, donde el valor es de 0 cuando existe dominancia total de una especie y 1 cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1989). Este índice se calcula de la siguiente manera.

$$E = H' / H_{\text{máx.}} = H' / \ln S$$

S = número de especies de la muestra.

8.5 Índice de Simpson (D)

Este índice de dominancia de Simpson es llamado así porque lleva más de la carga común o dominancia de especies, indica la probabilidad de extraer individuos de una misma especie (Stiling, 1999). Se calcula de la siguiente manera:

$$D = \frac{\sum (n_i - 1)}{N(N-1)}$$

n_i = número de individuos de la i -ésima especie.

N = número total de individuos.

8.6 Prueba T

Compara las diferencias significativas de los índices de Simpson y Shannon entre los tratamientos implementados y los muestreos realizados en el área experimental (Magurran, 1989).

8.7 Índice de Usher

La distribución vertical de la macrofauna edáfica, fue realizada con los morfotipos mas abundantes mediante este índice (Usher, 1975 en Barrera *et al.*, 2001), en la que

se considera que la fauna se distribuye como una nube tridimensional de densidad variable con profundidad. El autor principal de este índice, dividió el perfil vertical en un número i de estratos, donde sus centros se encontrarían a una distancia d_i de la superficie de la capa superior.

El hipotético centro de gravedad de tal nube se calcularía de la siguiente manera.

$$M = \sum d_i * n_i / N$$

Donde M = a la profundidad media en cm.

d_i = profundidad a la que se halla el centro de cada capa.

n_i = densidad del taxón considerado en cada capa.

N = densidad del taxón en el total del perfil.

8.8 Prueba Tukey

Compara las diferencias entre los promedios de las muestras para determinar cual de las muestras difieren significativamente una de la otra (Stiles, 1993).

8.9 Índice de disimilaridad de Bray – Curtis

Para observar la incidencia de la estandarización y las transformaciones en el análisis de clasificación. Este índice, tiene en cuenta la abundancia de las especies para comparar la composición de la macrofauna edáfica de las zonas adyacentes y los tratamientos implementados (Ramírez, 1999).

$$D_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^S (X_{ij} - X_{ik})^2}{\sum_{i=1}^S (X_{ij} + X_{ik})}$$

Donde D_{jk} = Disimilaridad entre las estaciones (j y k).

X_{ij} = La abundancia de la especie.

X_{ik} = La abundancia de la especie i en k .

S = El numero de especies a comparar.

8.10 Análisis de correspondencia canónica

Permite ordenar simultáneamente estaciones y especies, y por tal motivo, posibilita observar la interrelación de unas con otras. Permite cuantificar además la distancia sobre un espacio multidimensional entre variables merísticas (densidad) o continuas (biomasa), estos son dominados por las especies más dominantes, a la vez que sobreestiman la afinidad entre atributos no comunes, pero de magnitudes pequeñas (Ramírez, 1999).

9. Resultados.

9.1. Composición de la macrofauna edáfica adulta colectada por el método de apiques (suelo).

Profundidad de 0 – 15 cms

El número total de individuos colectados por apique para el muestreo 1 fue de 74 distribuidos en 6 órdenes, 7 familias y 9 morfotipos. En el muestreo 2, el número total de individuos fue de 19 distribuidos en 8 órdenes, 9 familias y 10 morfotipos.

Para el tratamiento 1, en el muestreo 1 se registraron 4 familias, la más abundante fue Staphylinidae (84%), seguida por Formicidae (8%) y Carabidae (4%). En el muestreo 2, se registraron 5 familias, las más abundante fue Lumbricidae (62.5%) seguida por las familias Philosciidae y Spirobolidae (12.5%) cada una (Figura 2).

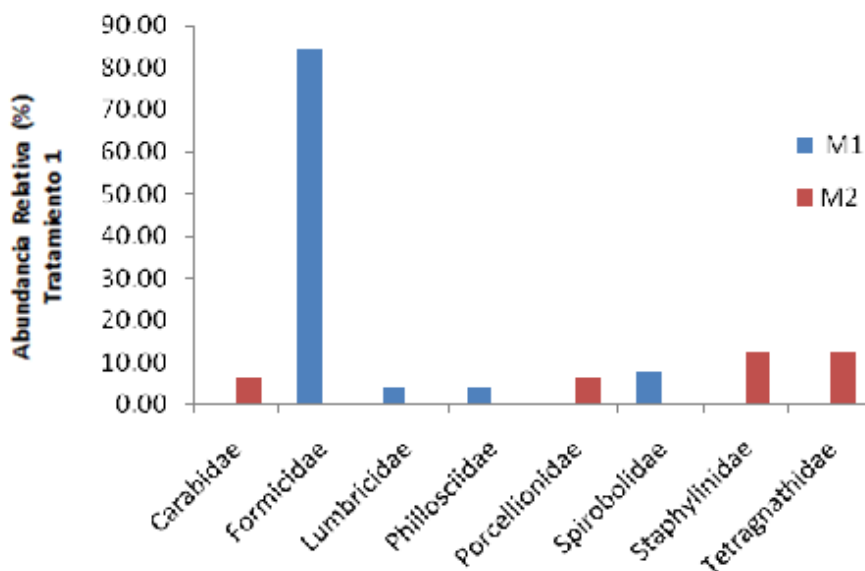


Figura 2. Abundancia relativa de las familias colectadas a la profundidad de 0-15 cms de la macrofauna edáfica adulta en el tratamiento 1, muestreos 1(M1) y muestreo 2(M2).

Para el tratamiento 2, en el muestreo 1 se registraron 5 familias, la más abundante fue la familia Staphylinidae (14.28%) seguida por las familia Lumbricidae y Spirostreptidae con una abundancia igual (28.57%). En el muestreo 2, se registraron 5 familias, la más abundante fue la familia Lumbricidae (44.44%) seguida por Spirobolidae (22.22%) (Figura 3).

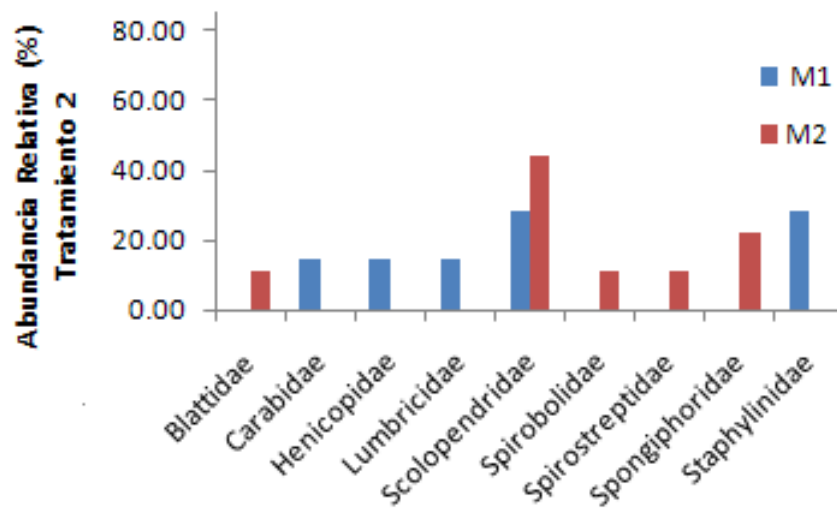


Figura 3. Abundancia relativa de las familias colectadas a la profundidad de 0-15 cms de la macrofauna edáfica adulta en el tratamiento 2, muestreos 1(M1) y 2(M2).

Para el tratamiento 3, en el muestreo 1 se registraron 5 familias, la más abundante fue la familia Staphylinidae (63.15%) seguida por la familia Lumbricidae con (15.78%). En el muestreo 2, se registraron 4 familias, Tetragnathidae, Carabidae, Forficulidae y Spirostreptidae todas con una abundancia igual (25%) (Figura 4).

Para el control, en el muestreo 1 se registraron 2 familias, la mas abundante fue la familia Isotomidae (66.66%), seguida por la familia Staphylinidae (33.33%). En el muestreo 2, se registraron 4 familias, Henicopidae, Carabidae, Forficulidae y Tetragnathidae todas con una abundancia igual (25%) (Figura.5).

De acuerdo con los datos anteriores, en cada tratamiento la fauna edáfica colonizadora no cambio pero si un poco entre tratamientos.

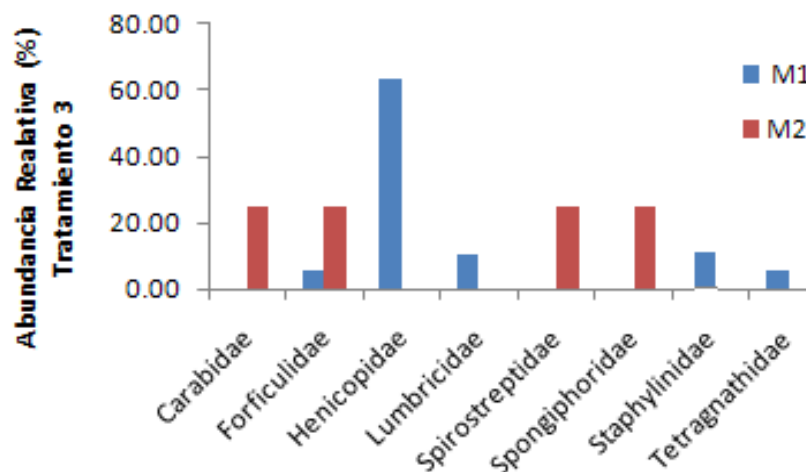


Figura 4. Abundancia relativa de las familias colectadas a la profundidad de 0-15 cms de la macrofauna edáfica adulta en el tratamiento 3, muestreos 1(M1) y 2(M2).

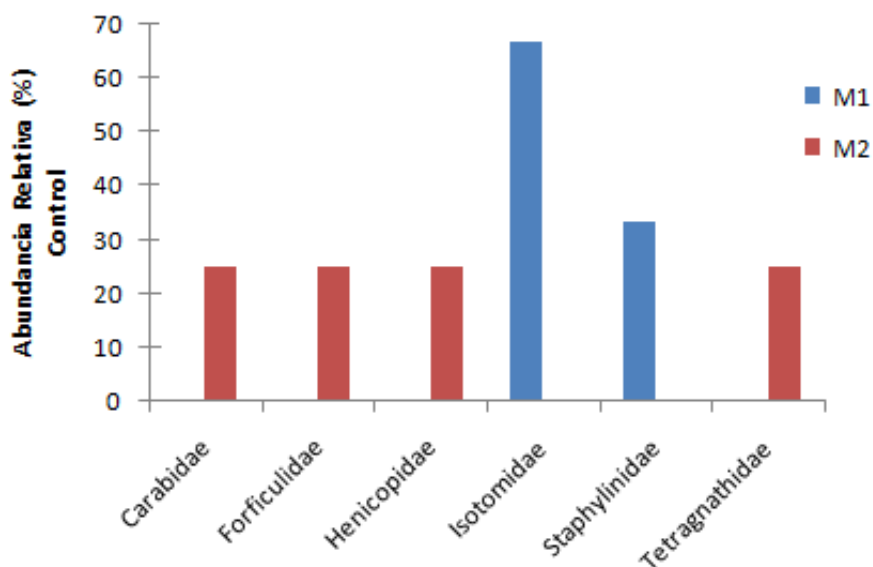


Figura 5. Abundancia relativa de las familias colectadas a la profundidad de 0-15 cms de la macrofauna edáfica adulta en el control, muestreos 1(M1) y 2(M2).

Profundidad de 15-30 cms

El número total de individuos colectados por apique para el muestreo 1 fue de 3 individuos distribuidos en 2 ordenes, 3 familia y 3 morfotipos. Para el muestreo 2, los individuos colectados se distribuyeron en 2 órdenes, 3 familias y 3 morfotipos.

A continuación, se describirá la macrofauna edáfica de manera general al ser poco significativos los resultados.

Para el tratamiento 1, en el muestreo 1 se registro la familia Formicidae y en el muestreo 2 hubo ausencia de familias. Para el tratamiento 2, en el muestreo 1 se registro la familia Staphylinidae y para el muestreo 2 la familia Porcellionidae. Para el tratamiento 3, en el muestreo 1 se registro la familia Curculionidae y para el muestreo 2 se registro la familia Spirobolidae. Finalmente, para el control en el muestreo 1 no se registraron familias, pero si para el muestreo 2 con la familia Spirobolidae.

9.1.1 Diversidad por apiques.

Profundidad de 0-15 cm de

En el muestreo 1, el tratamiento 2 presenta mayor diversidad ($H':1.78$), seguido por el tratamiento 3 ($H':1.38$) y el tratamiento 1 ($H':1.15$). El control obtuvo la menor diversidad ($H':0.69$). En el muestreo 2, el tratamiento 2 presento la mayor diversidad ($H':2.31$), seguido por el tratamiento 3 ($H':1.67$) y el tratamiento 1 ($H':1.63$). En el control no se registraron individuos adultos (Figura 6).

Diversidad de 15-30 cm de profundidad

A esta profundidad no se registraron datos de diversidad por la baja presencia de macrofauna edáfica adulta.

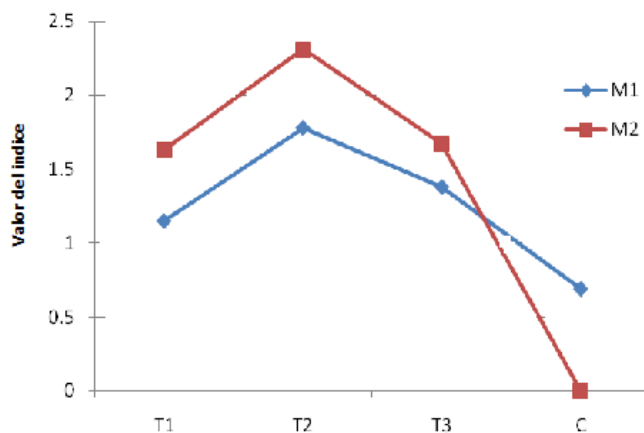


Figura 6. Valores de Shannon para la macrofauna edáfica adulta para cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

9.1.2 Equidad por apiques.

Profundidad de 0-15 cms

En el muestreo 1, el control presento el mayor valor (1.00) seguido por el tratamiento 2 con (0.96) y el tratamiento 3 con (0.93) y finalmente el tratamiento 1 con un valor de 0.83. En el muestreo 2, el tratamiento 3 presento mayor equidad con un valor de 1.00 seguido del tratamiento 1 y 2 con un valor de 0.98 y el tratamiento 1 con un valor de 0.96. En el control no se registraron individuos adultos (Figura.7).

Profundidad de 15-30 cms

A esta profundidad no se registraron datos de equidad por la baja presencia de macrofauna edáfica adulta.

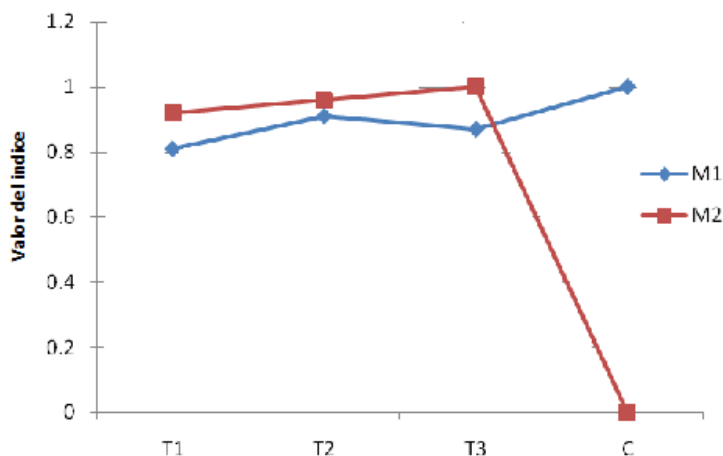


Figura 7. Valores de Equidad para la macrofauna edáfica adulta para cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

9.1.3 Dominancia en apiques.

Profundidad de 0-15 cms

En el muestreo 1, el tratamiento 1 presento el mayor valor con 0.29 seguido por el tratamiento 3 con un valor de 0.27 y por el tratamiento 2 con un valor de 0.16. En el control no se registraron datos significativos para el índice. En el muestreo 2, el tratamiento 1 presento el valor más alto con 0.17, seguido por el tratamiento 2 con un valor de 0.1 y el tratamiento 3 y control con un valor de 0.00 cada uno (Figura 8).

Profundidad de 15-30 cms

A esta profundidad no se registraron datos de equidad por la baja presencia de macrofauna edáfica adulta.

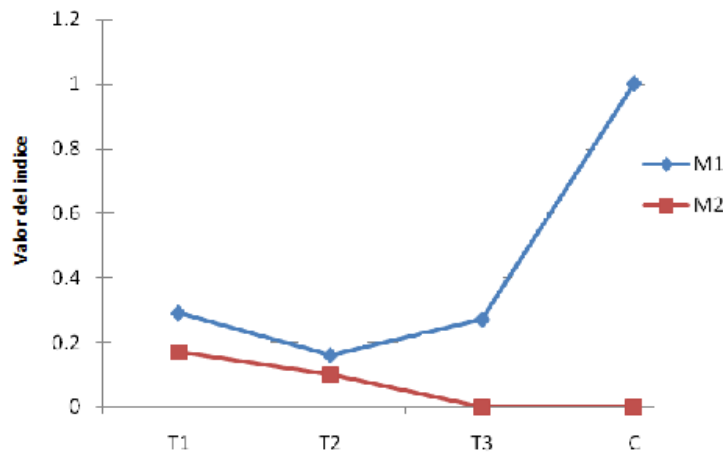


Figura 8. Valores de dominancia para la macrofauna edáfica adulta para cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

9.1.4 Distribución vertical por apiques

El índice de usher indico que para todos los tratamientos los individuos adultos se distribuyeron especialmente en la profundidad de 0-15 cm. En el muestreo 1, para el tratamiento 1 la macrofauna estuvo preferencialmente en los 11.25 cm de profundidad, en el tratamiento 2 en 10.93 cm, en el tratamiento 3 en 9.86 cm y para el control 7.50 cm. En el muestreo 2, para el tratamiento 1 la macrofauna estuvo preferencialmente en los 9.03 cm de profundidad, para el tratamiento 2 en 8.56 cm, para el tratamiento 3 en 7.07 cm y para el control 7.07 cm (Figura 9).

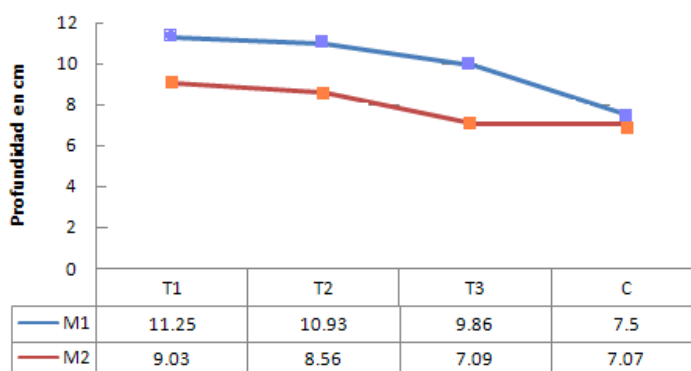


Figura 9. Valores de Usher para la macrofauna edáfica adulta para cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

9.1.5 Análisis de correspondencia canónica por apiques

El análisis de correspondencia canónica se refiere al efecto que tiene el tratamiento sobre la comunidad en estudio, que en este caso es la macrofauna edáfica adulta.

Profundidad de 0-15 cms

En el análisis se identifico para el muestreo 1, que el tratamiento 1 esta asociado con 2 morfotipos, el tratamiento 2 esta asociado con 3 morfotipos y el tratamiento 3 con dos morfotipos (Figura.10).

Para el muestreo 2, que el tratamiento 1 esta asociado con 2 morfotipos, el tratamiento 2 y 3 están asociados cada uno con 5 morfotipos. (Figura.11).

Profundidad de 15-30 cms

Debido a la insignificancia de datos, en el análisis se identifico para el muestreo 1, que los tratamientos 1, 2 y 3 están asociados con 1 morfotipo. Para el muestreo 2, no hay información suficiente.

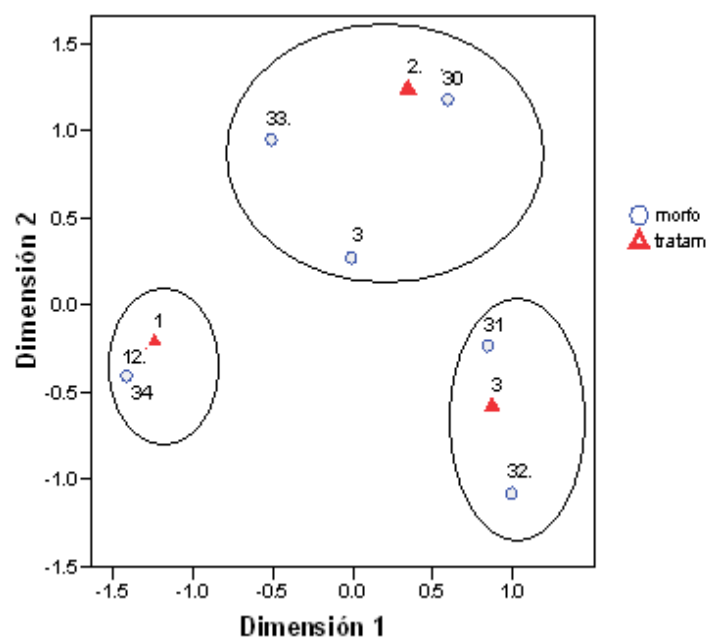


Figura 10. Análisis de correspondencia canónica de la macrofauna edáfica adulta donde se muestran los morfotipos asociadas a cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad en el muestreo 1(M1).

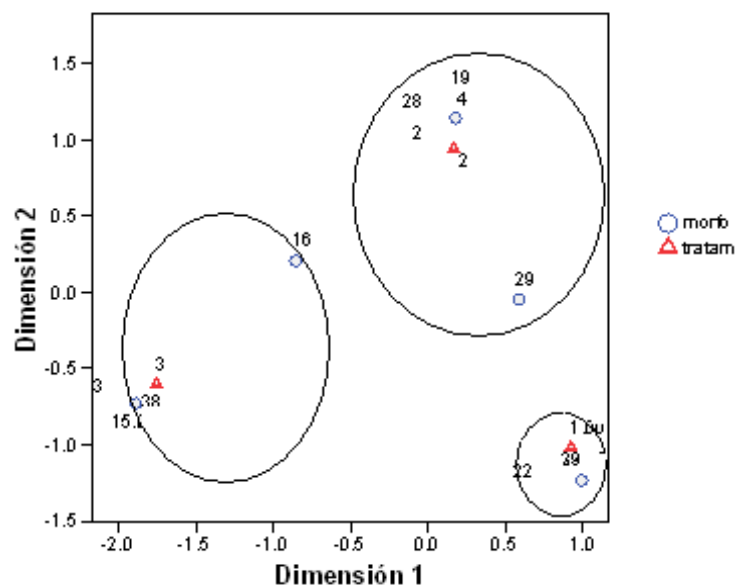


Figura 11. Análisis de correspondencia canónica de la macrofauna edáfica adulta donde se muestran los morfotipos asociadas a cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad en el muestreo 2(M2).

9.2 Composición de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colectada por apiques (suelo).

Profundidad de 0 – 15 cms

El número total de individuos colectados por apique para el muestreo 1 fue de 20 distribuidos en 6 órdenes, 9 familias y 11 morfotipos. En el muestreo 2, el número total de individuos fue de 22 distribuidos en 5 órdenes, 7 familias y 8 morfotipos.

Para el tratamiento 1, en el muestreo 1 se registraron 2 familias Scarabaeidae (75%) y Porcellionidae (25%) con sus respectivas abundancias. En el muestreo 2 se registraron 3 familias, la más abundante fue Scarabaeidae (50%) seguida por la familia Spirobolidae (33.33%) y la familia Carabidae (16.16%) (Figura.12).

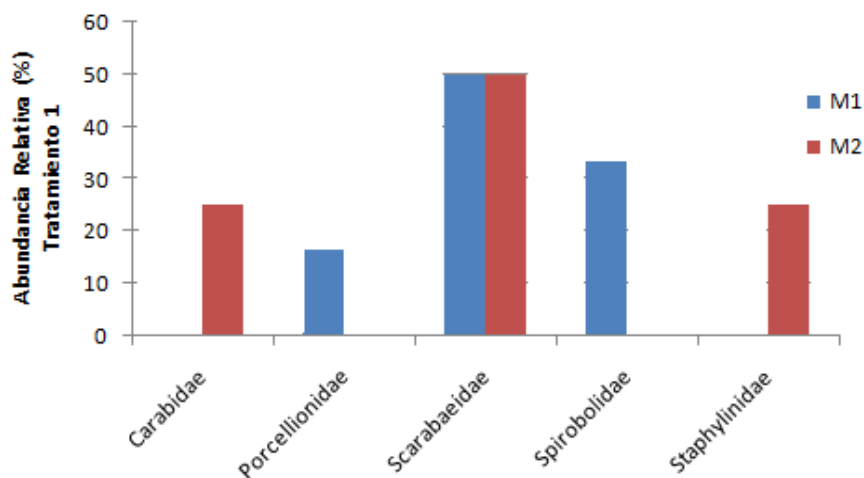


Figura 12. Abundancia relativa de las familias colectadas a la profundidad de 0-15 cms de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros en el tratamiento muestreos 1(M1) y 2(M2).

Para el tratamiento 2, en el muestreo 1 se registraron 4 familias, 3 con igual abundancia Scarabaeidae, Staphylinidae y Spongiphoridae cada una con 28.57% y la familia Curculionidae con un 14.28%. En el muestreo 2 se registraron 2 familias, la más abundante fue la familia Scarabaeidae (66.66%) seguida por la familia Spongiophoridae (33.33%) (Figura.13).

Para el tratamiento 3, en el muestreo 1 se registraron 5 familias, la más abundante fue la familia Staphylinidae (42.85%) seguidas las familias Elateridae, Scarabaeidae, Noctuidae y Diapriidae cada una con 14.28%. En el muestreo 2 se registraron 4 familias, la más abundante Scarabaeidae (50%) seguida por las familias Scolopendridae, Henicopidae y Spongiphoridae cada una con el 16.66% (Figura.14).

Finalmente, para el control en el muestreo 1 se registro solo la familia Aradidae (100%), mientras que en el muestreo 2 se registraron 4 familias, teniendo la mayor abundancia la familia Scarabaeidae (50%) seguida por las familias Spongiphoriadae, Henicopidae y Scolopendridae con el 16.66% cada una (Figura.15).

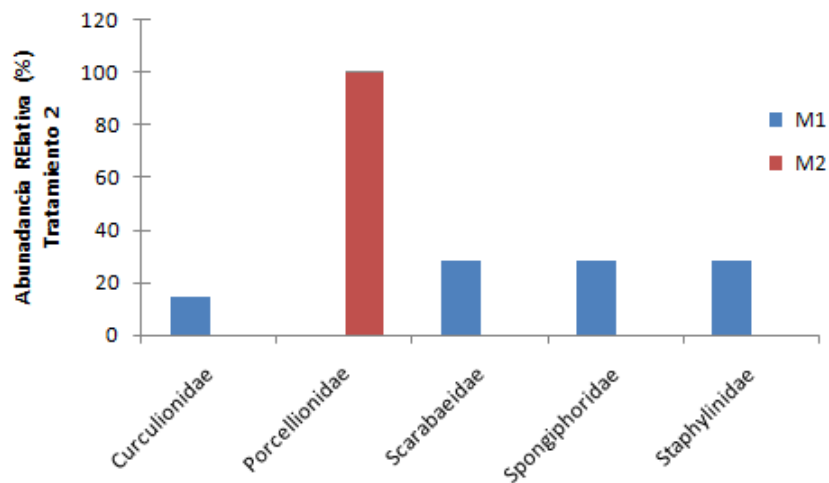


Figura 13. Abundancia relativa de las familias colectadas a la profundidad 0-15 cms de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros en el tratamiento 2 muestreos 1(M1) y 2(M2).

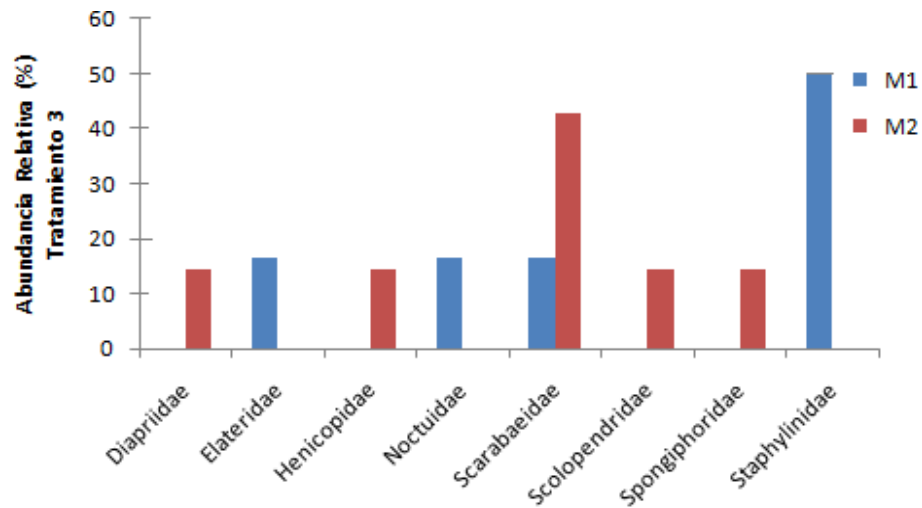


Figura 14. Abundancia relativa de las familias colectadas a la profundidad de 0-15 cms de los estados inmaduros en el tratamiento 3 en el muestreo 1 (M1) y muestreo 2 (M2).

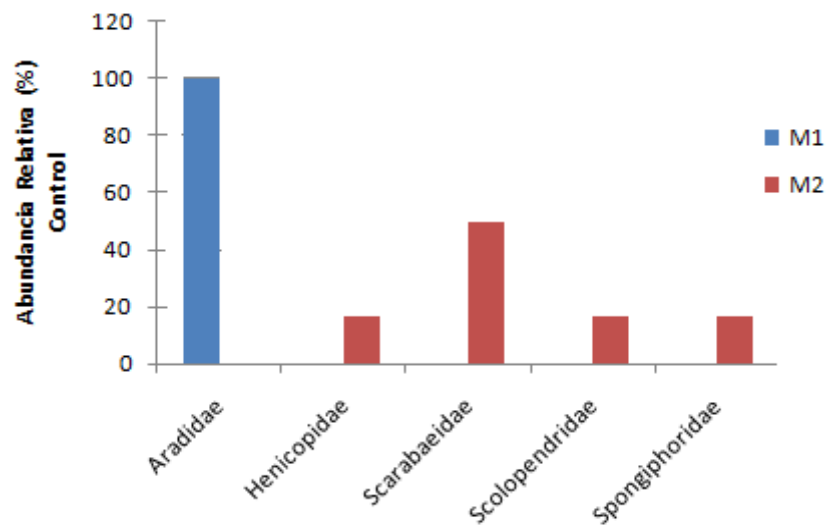


Figura 15. Abundancia relativa de las familias colectadas a la profundidad de 0-15 cms de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros en el control muestreos 1(M1) y muestreo 2 (M2).

Profundidad de 15-30 cms

El número total de individuos colectados por apique para el muestreo 1 fue de 6 y para el muestreo 2 fue de 8 individuos. Para el muestreo 1 se distribuyeron en 2 órdenes, 2 familias y 2 morfotipos y para el muestreo 2 se distribuyeron en 2 órdenes, 3 familias y 4 morfotipos. A esta profundidad las abundancias fueron muy bajas, describiéndose cada tratamiento de forma general.

Para el tratamiento 1, en el muestreo 1 se registro la familia Formicidae y en el muestreo 2 la familia Scarabaeidae. Para el tratamiento 2, en el muestreo 1 se registraron la familia Staphylinidae y para el muestreo 2 la familia Porcellionidae. Para el tratamiento 3, en el muestreo 1 se registro la familia Curculionidae y para el muestreo 2 se registro la familia Spirobolidae. Finalmente, para el tratamiento control en el muestreo 1 no se registraron familias, pero que para el muestreo 2 se registró la familia Spirobolidae.

9.2.1 Diversidad por apique.

Profundidad de 0-15 cms

En el muestreo 1, la mayor diversidad se obtuvo en el c tratamiento 3 ($H':1.75$), seguido por el tratamiento 2 ($H':1.55$) y el tratamiento 1 ($H':0.69$). El control obtuvo presento los valores mas bajos de diversidad. En el muestreo 2, nuevamente el tratamiento con mayor diversidad fue el tratamiento 3 ($H':1.56$), seguido por el tratamiento 1 ($H':1.39$) y el tratamiento 2 ($H':0.64$). El control presento una diversidad inferior al de los demás (Figura.16).

Profundidad de 15-30 cms

A esta profundidad no se registraron datos de diversidad por la baja presencia de macrofauna edáfica adulta.

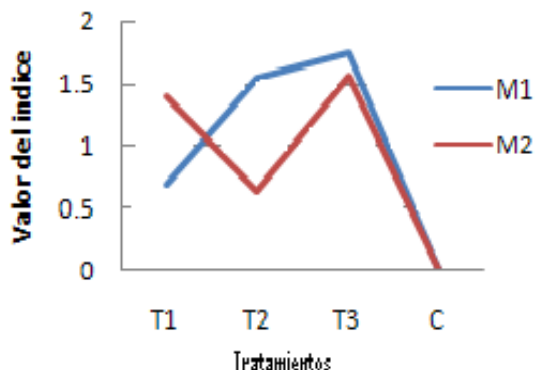


Figura 16. Valores de Shannon para los estados inmaduros para cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad muestreo 1(M1) y muestreo 2 (M2).

9.2.2 Equidad por apiques

Profundidad 0-15 cms

En el muestreo 1, el tratamiento con mayor equidad para la macrofauna edáfica fue el tratamiento 1 con un valor de 1.00 seguido por el tratamiento 3 con un valor de 0.96 y el tratamiento 2 con un valor de 0.98. Finalmente, el control presentó datos deficientes para el índice de equidad. En el muestreo 2, nuevamente fue para el tratamiento 1 con un valor de 1.00 seguido por el tratamiento 3 con un valor de 0.97 y el tratamiento 2 con un valor de 0.92. En el control no se registraron individuos adultos (Figura.17).

Profundidad de 15-30 cms

A esta profundidad no se registraron datos de equidad por la baja presencia de macrofauna edáfica adulta.

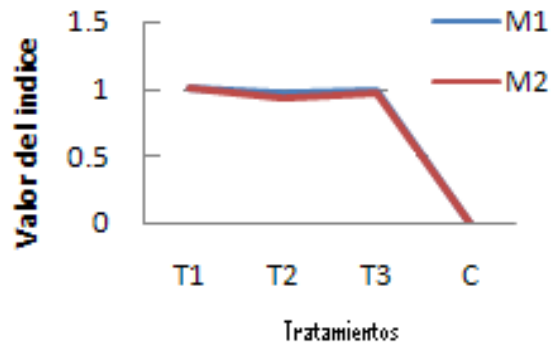


Figura 17. Valores de Equidad para los estados inmaduros para cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

9.2.3 Dominancia por apiques

Profundidad 0-15 cms

En el muestreo 1, el tratamiento 2 presento el valor más alto de 0.10, seguido por el tratamiento 3 con un valor de 0.05 y el tratamiento 1 con un valor de 0.00. En el control no se registraron datos para el cálculo del índice. En el muestreo 2, el tratamiento 2 presento nuevamente el mayor valor con 0.47, seguido por el tratamiento 3 con un valor de 0.07 y el tratamiento 1 con un valor de 0.00 (Figura.18).

Profundidad 15-30 cms

A esta profundidad no se registraron datos de equidad por la baja presencia de macrofauna edáfica adulta.

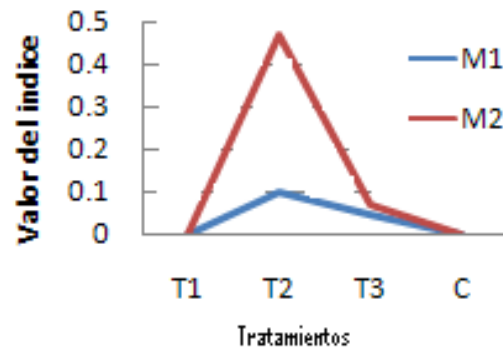


Figura 18. Valores de dominancia para los estados inmaduros para cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

9.2.4 Distribución vertical por apiques

La distribución vertical de la macrofauna edáfica adulta en el perfil del sustrato fue analizada con el índice de Usher. Este índice indicó que para todos los tratamientos los individuos de los estados inmaduros al igual que el estado adulto se distribuyeron especialmente en la profundidad de 0-15 cm. En el muestreo 1, para el tratamiento 1 el centro hipotético de gravedad fue en los 11.03 cm de profundidad, para el tratamiento 2 en 9.50 cm, para el tratamiento 3 en 8.71 cm y para el control 6.53 cm. En el muestreo 2, para el tratamiento 1 el centro hipotético de gravedad fue en los 10.56 cm de profundidad, para el tratamiento 2 en 8.06 cm, para el tratamiento 3 en 7.51 cm y para el tratamiento control 7.03 cm (Figura.19).

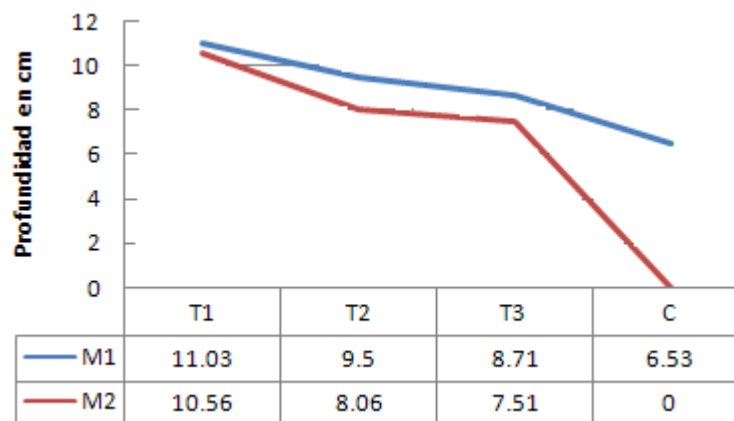


Figura 19. Valores del índice de Usher para los estados inmaduros para cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

9.2.5 Análisis De correspondencia canónica por apiques

Profundidad de 0-15 cms

El análisis de correspondencia canónica se refiere al efecto que tiene el tratamiento sobre la comunidad en estudio. En el análisis se identifico para el muestreo 1, que el tratamiento 1 esta asociado con 1 morfotipo y los tratamientos 2 y 3 esta asociado con 4 morfotipos (Figura. 20).

Para el muestreo 2, el tratamiento 1 se asocio con 4 morfotipos, el tratamiento 3 se asocio con 3 y estos tratamiento comparten un morfotipo. Finalmente, el tratamiento 2 se encuentra asociado a 2 morfotipo (Figura. 21).

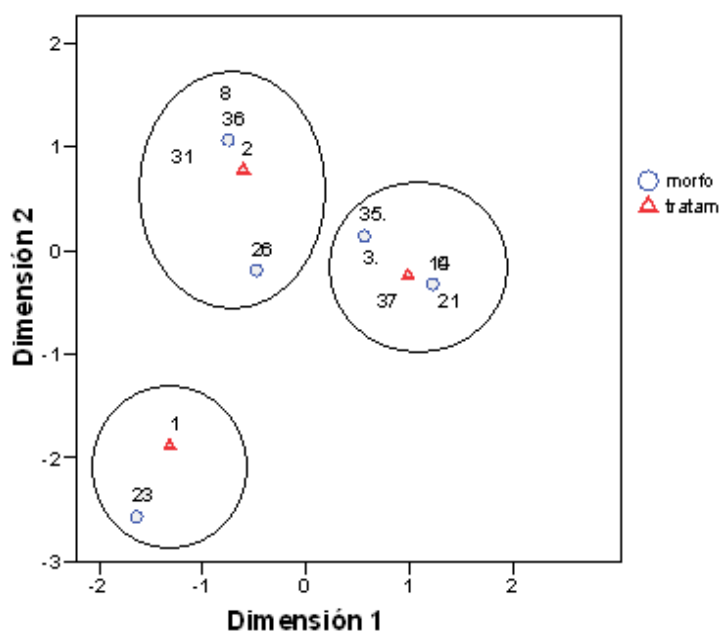


Figura 20. Análisis de correspondencia canónica para los estados inmaduros donde se muestran los morfotipos asociados a cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad en el muestreo 1(M1).

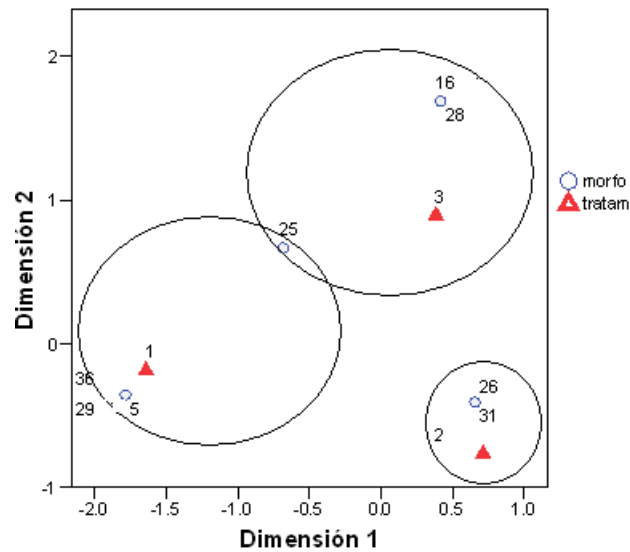


Figura 21. Análisis de correspondencia canónica para los estados inmaduros donde se muestran los morfotipos asociadas a cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad en el muestreo 2(M2).

Profundidad de 15-30 cms

Para el muestreo 1 no hubo información suficiente. Para el muestreo 2, el tratamiento 1 y 2 se asocian con 2 morfotipos compartiendo 1 y para el tratamiento 3 se asocia con un morfotipo (Figura. 22).

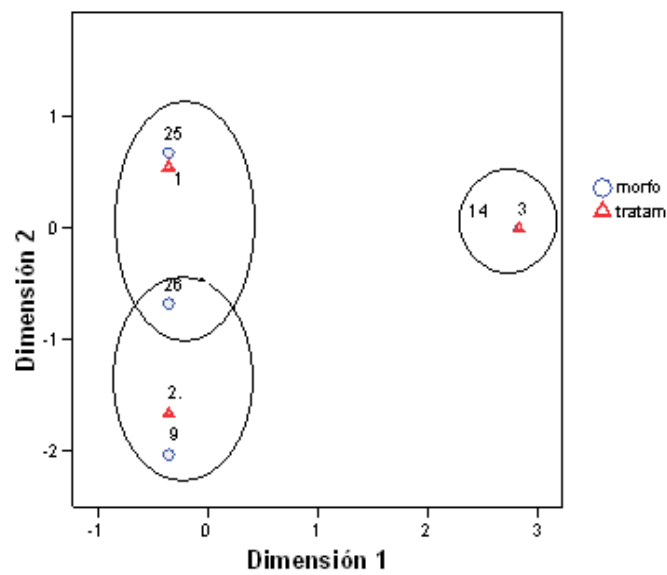


Figura 22. Análisis de correspondencia canónica de los estados inmaduros donde se muestran los morfotipos asociadas a cada uno de los tratamientos de 0-15 cm de profundidad en el muestreo 2 (M2).

9.2.6 Similitud por apiques

La similitud entre los tratamientos del área experimental en términos de abundancia por morfotipo presentaron que los tratamientos que mas se asemejan entre si son el tratamiento 1 y 3 (0.80%) seguido del tratamiento 1 y 2 (0.63%) y tratamiento 2 y 3 (0.52%) (Tabla 1).

Tabla 1. Tabla de porcentajes de similitud de Bray Curtis de macrofauna edáfica adulta e inmadura en apiques entre los tratamientos y el control en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Dissimilaridad de Bray-Curtis					
T1/ T2	T1/T3	T1/C	T2/T3	T2/C	T3/C
0,63%	0,80%	0,43%	0,52%	0,46%	0,42%

9.3 Composición de la macrofauna edáfica adulta colectada en trampas de caída (pitfall).

El número total de individuos colectados en trampa de caída para el muestreo 1 fue de

329 distribuidos en 10 órdenes, 39 familias y 64 morfotipos. En el muestreo 2, el número total de individuos fue de 470 distribuidos en 10 órdenes, 29 familias y 51 morfotipos.

Para el tratamiento 1, en el muestreo 1 se registraron 24 familias, la más abundante fue Spongiphoridae (27.02%), seguida por Lycosidae (16.21%) y Entomobryidae (8.10%), el resto de familias tuvo una abundancia inferior al 7%. En el muestreo 2 se registraron 18 familias, las más abundante fueron Lycosidae (29.05%), seguida de Entomobryidae (19.65%) y Sminthuridae (11.96%) el resto de familias tuvo una abundancia inferior de 7%. (Figura 23).

Para el tratamiento 2, en el muestreo 1 se registraron 22 familias, la más abundante fue Lycosidae (27.17%), seguida por Spongiphoridae (11.95%) y Cosmetidae (9.78%), el resto de familias tuvo una abundancia inferior al 7%. En el muestreo 2 se registraron 8 familias, las más abundante fue Spongiphoridae (39.53%), Sminthuridae (25.54%) y Porcellionidae (9.3%) el resto de familias tuvo una abundancia inferior de 7%. (Figura 24).

Para el tratamiento 3, en el muestreo 1 se registraron 24 familias, la más abundante fue Entomobryidae (32.43%), seguida por Lycosidae (15.31%) y Chrysomelidae (10.81%), el resto de familias tuvo una abundancia inferior de 7%. En el muestreo 2 se registraron 21 familias, las más abundante fue Entomobryidae (35.23%), seguida por Lycosidae (21.24%) el resto de familias tuvo una abundancia inferior de 7%. (Figura.25).

Para el control, en el muestreo 1 se registraron 11 familias, la más abundante fue Entomobryidae (61.53%) el resto de familias tuvo una abundancia inferior de 7%. En el muestreo 2 se registraron 12 familias, las más abundante fue Entomobryidae

(59.81%) y *Sminthuridae* (21.36%), el resto de familias tuvo una abundancia inferior de 7%. (Figura.26).

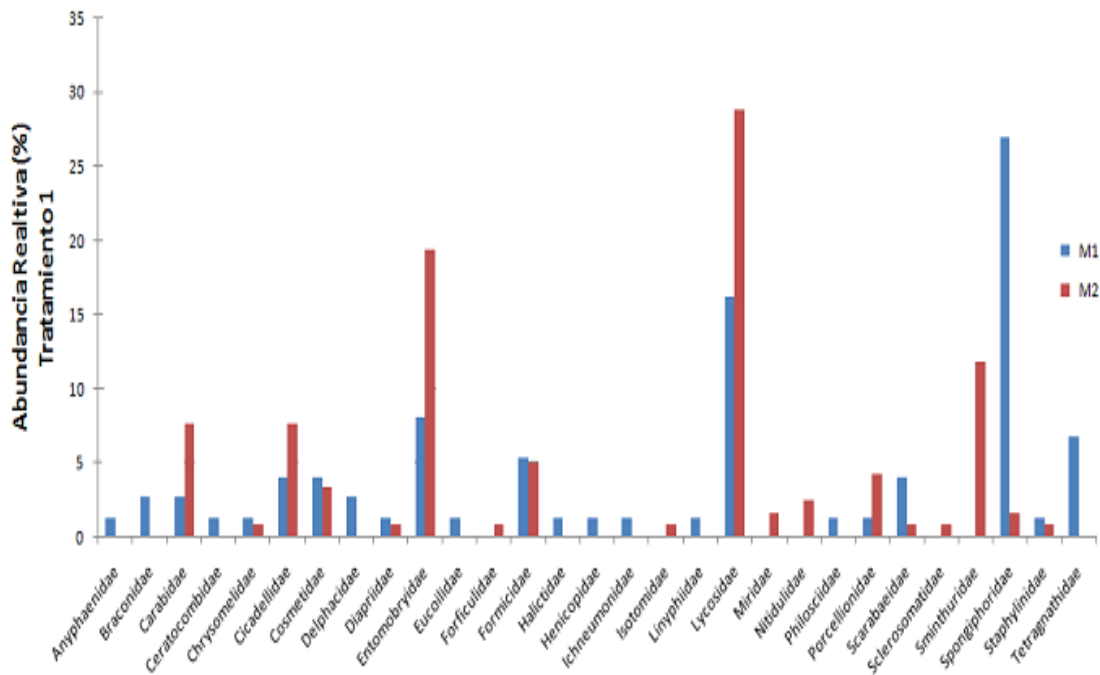


Figura 23. Abundancia relativa de las familias colectadas en trampa de caída de la macrofauna edáfica adulta en el tratamiento 1 en el muestreo 1 (M1) y muestreo 2 (M2).

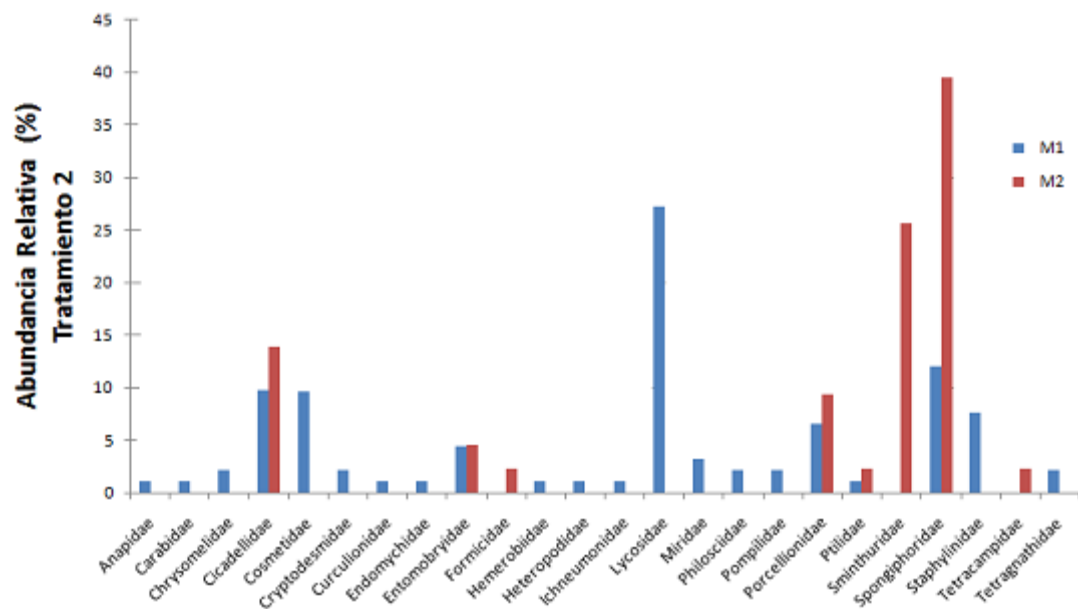


Figura 24. Abundancia relativa de las familias colectadas en trampa de caída de la macrofauna edáfica adulta en el tratamiento 2 en el muestreo 1 (M1) y muestreo 2 (M2).

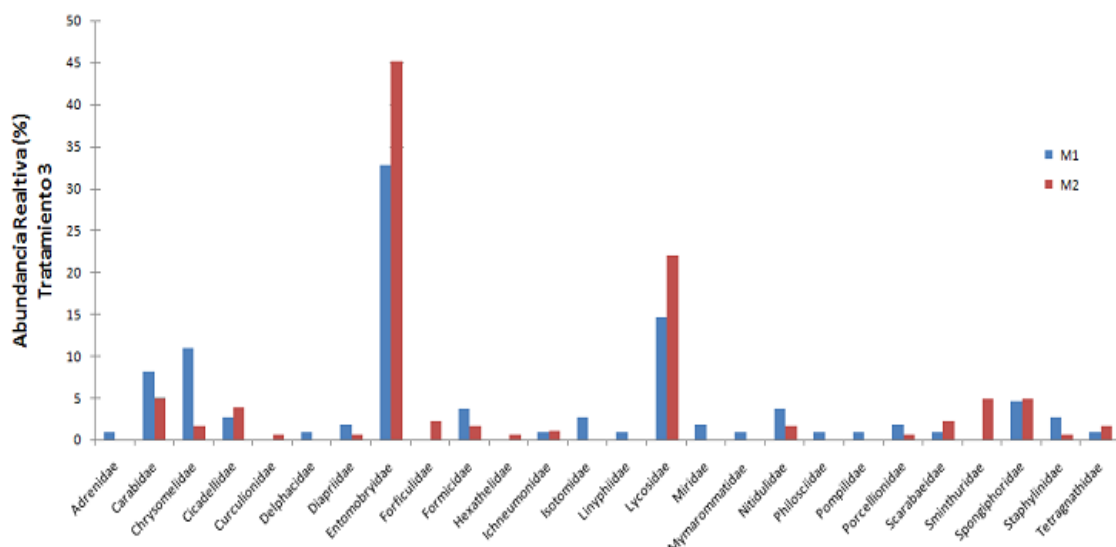


Figura 25. Abundancia relativa de las familias colectadas en trampa de caída de la macrofauna edáfica adulta en el tratamiento 3 en el muestreo 1 (M1) y muestreo 2 (M2).

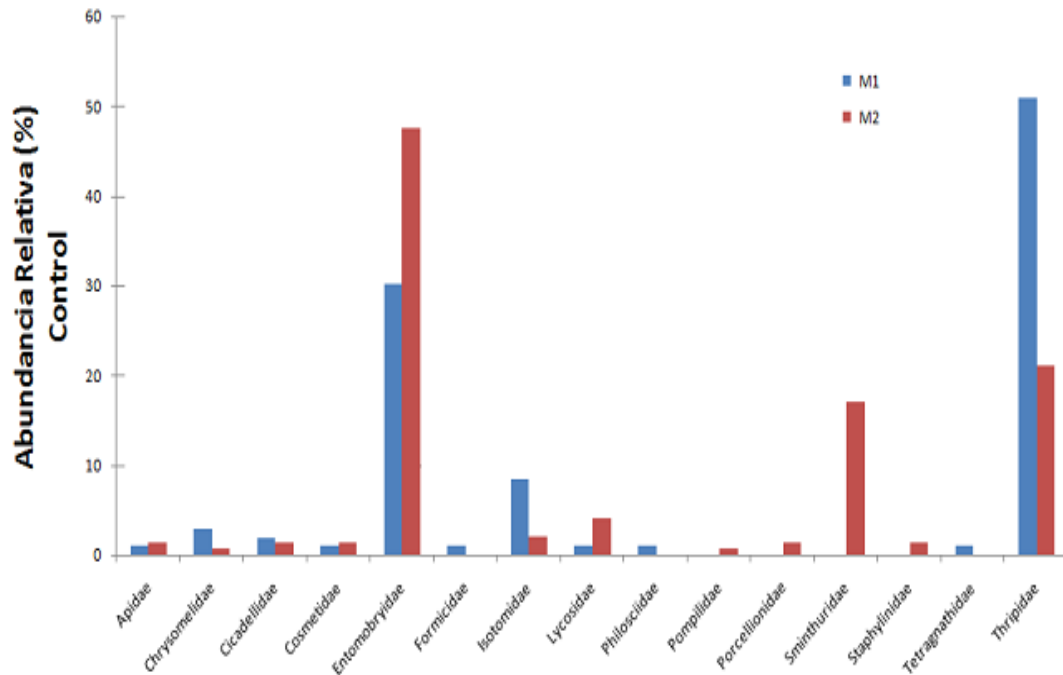


Figura 26. Abundancia relativa de las familias colectadas en trampa de caída de la macrofauna edáfica adulta en el tratamiento control en el muestreo 1 (M1) y muestreo 2 (M2).

9.3.1 Diversidad en trampa de caída.

En el muestreo 1, el tratamiento con mayor diversidad para la macrofauna edáfica fue el tratamiento 2 ($H': 3.15$), seguido por el tratamiento 3 ($H': 3.08$) y el tratamiento 1 ($H': 3.00$). El control presentó una diversidad de ($H': 2.16$). En el muestreo 2, el tratamiento 3 obtuvo la mayor diversidad ($H': 3.21$), seguido por el tratamiento 2 ($H': 3.10$) y el tratamiento 1 ($H': 3.01$). El control presentó una diversidad de ($H': 2.40$) (Figura.27).

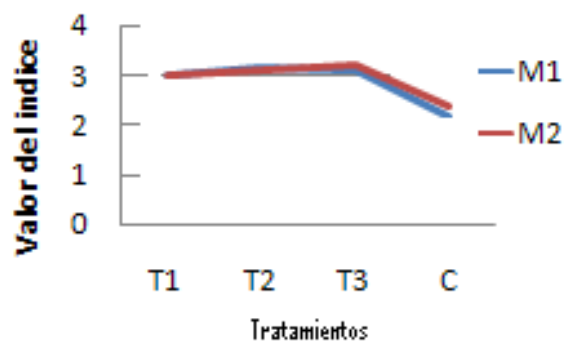


Figura 27. Índices de Shannon para los individuos adultos para cada uno de los tratamientos en trampa de caída en el muestreo 1 (M1) y muestreo 2 (M2).

9.3.2 Equidad en trampa de caída.

En el muestreo 1, los tratamientos con mayor equidad para la macrofauna edáfica fueron el tratamiento 2 y 3 con un valor de 0.92 seguido por el tratamiento 1 con un valor de 0.90 y el control con un valor de 0.87. En el muestreo 2, el tratamiento 2 presento una mayor equidad con un valor de 0.92 seguido por el tratamiento 3 con un valor de 0.91 y el tratamiento 1 con un valor de 0.88. En el control obtuvo una equidad de 0.83 (Figura.28).

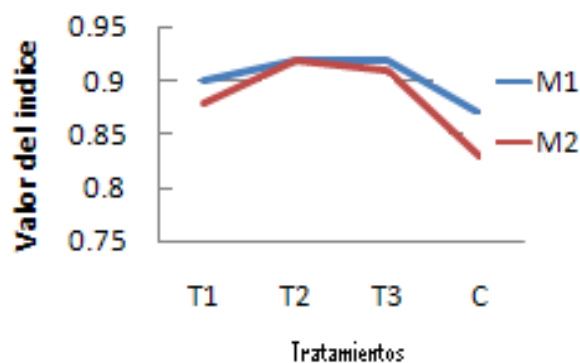


Figura 28. Índices de Equidad para los individuos de la macrofauna adulta para cada uno de los tratamientos en trampa de caída en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

9.3.3 Dominancia en trampa de caída.

En el muestreo 1, la mayor dominancia la obtuvo el control con un valor de 0.12, seguido por el tratamiento 1 con un valor de 0.05 y los tratamientos 2 y 3 con un valor de 0.04. En el muestreo 2, de igual manera, el control obtuvo la dominancia más alta con un valor de 0.13, seguido por el tratamiento 1 con un valor de 0.07, el tratamiento 3 con un valor de 0.05 y el tratamiento 2 con un valor de 0.04 (Figura 29).

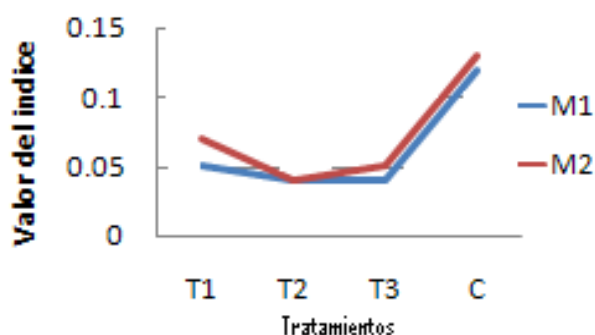


Figura 29. Índices de dominancia para los individuos adultos para cada uno de los tratamientos en trampa de caída en el muestreo 1 (M1) y muestreo 2 (M2).

9.3.4 Análisis de correspondencia canónica en trampa de caída

En el análisis se identificó para el muestreo 1, que el tratamiento 1 se encuentra asociado con 11 morfotipos, el tratamiento 2 con 12 morfotipos y el tratamiento 3 asociado con 11 morfotipos y que entre estos dos últimos tratamientos comparten un morfotipo (Figura 30).

Para el muestreo 2, el tratamiento 1 se asocia con 11 morfotipos y este a su vez se asocia con el tratamiento 2 con morfotipos y con el tratamiento 3 con 7 morfotipos. El tratamiento 2 se asocia con 15 morfotipos y finalmente el tratamiento 3 que se asocia a 20 morfotipos (Figura 31).

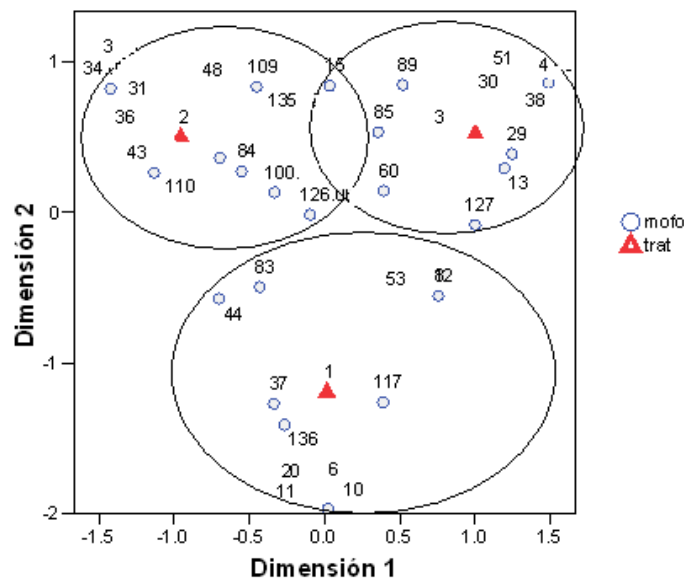


Figura 30. Análisis de correspondencia canónica de la macrofauna edáfica adulta donde se muestran los morfotipos asociadas a cada uno de los tratamientos en trampa de caída en el muestreo 1(M1).

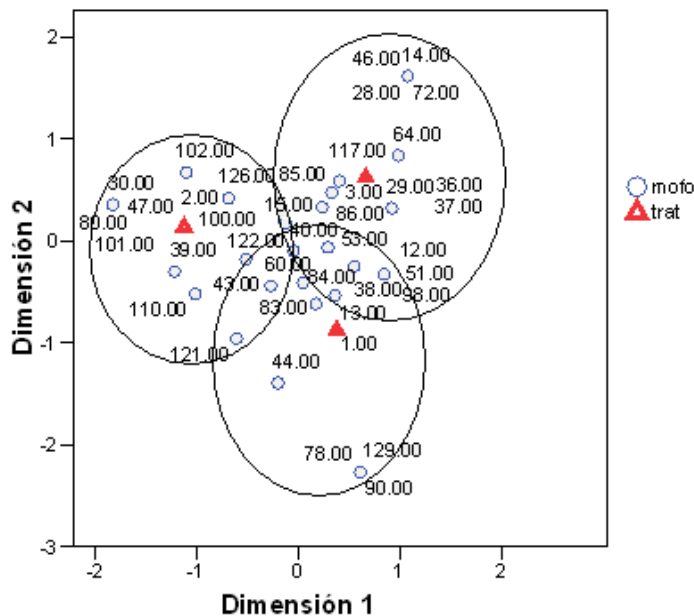


Figura 31. Análisis de correspondencia canónica de la macrofauna edáfica adulta donde se muestran los morfotipos asociadas a cada uno de los tratamientos en trampa de caída en el muestreo 2(M2).

9.4 Composición de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colectada en trampa de caída (pitfall).

El número total de individuos colectados en trampa de caída para el muestreo 1 fue de 74 distribuidos en 6 órdenes, 9 familias y 11 morfotipos. En el muestreo 2, el número total de individuos fue de 92 distribuidos en 6 órdenes, 8 familias y 9 morfotipos.

Para el tratamiento 1, en el muestreo 1 se registraron 9 familias, las más abundantes y en igualdad de abundancia fueron Philosciidae y Cicadellidae (25%) seguidas por Spongiphoridae, el resto de familias tuvo una abundancia inferior de 7%. En el muestreo 2 se registraron 8 familias, las más abundante fue Cicadellidae (14.89%), el resto de familias tuvo una abundancia inferior de 7%. (Figura 32).

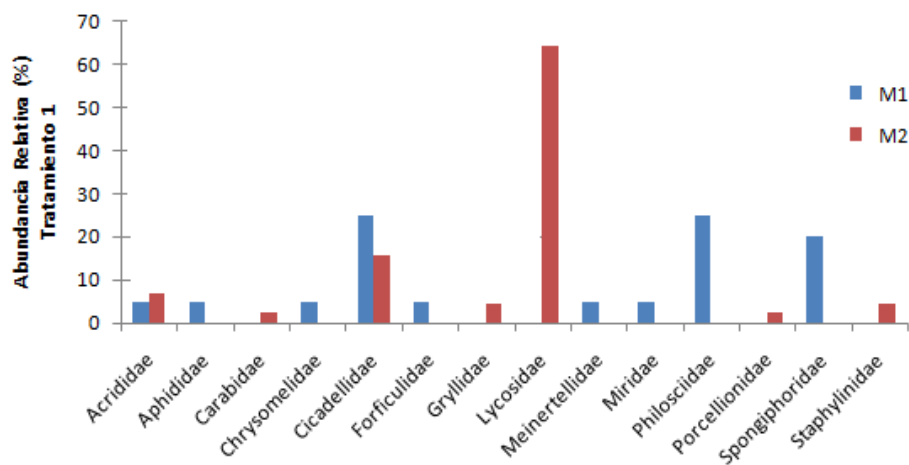


Figura 32. Abundancia relativa de las familias colectadas en trampa de caída de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros en el tratamiento 1 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Para el tratamiento 2, en el muestreo 1 se registraron 6 familias, la más abundante fue Porcellionidae (31.25%) seguida, con igual abundancia, por las familias

Spongiphoridae y Cicadellidae (25%), el resto de familias tuvo una abundancia inferior de 7%. En el muestreo 2 se registraron 4 familias, las más abundantes fueron Porcellionidae (47.36%) seguida por Spongiphoridae (31.57%) y Philosciidae (10.52%) y la familia Spongiphoridae tuvo una abundancia inferior de 7%. (Figura 33).

Para el tratamiento 3, en el muestreo 1 se registraron 9 familias, la más abundante fue Cicadellidae (38.88%), seguida por Spongiphoridae (22.22%) y Forficulidae (16.66%), el resto de familias tuvo una abundancia inferior de 7%. En el muestreo 2 se registraron 5 familias, las más abundante fue Cicadellidae (61.11%) y Forficulidae (16.66%), el resto de familias presentaron una abundancia inferior de 7%. (Figura 34).

Para el control, en el muestreo 1 las familias Chrysomelidae y Formicidae (50%) presentaron igual abundancia y para el muestreo 2 la única familia registrada fue Lycoside (100%) (Figura 35).

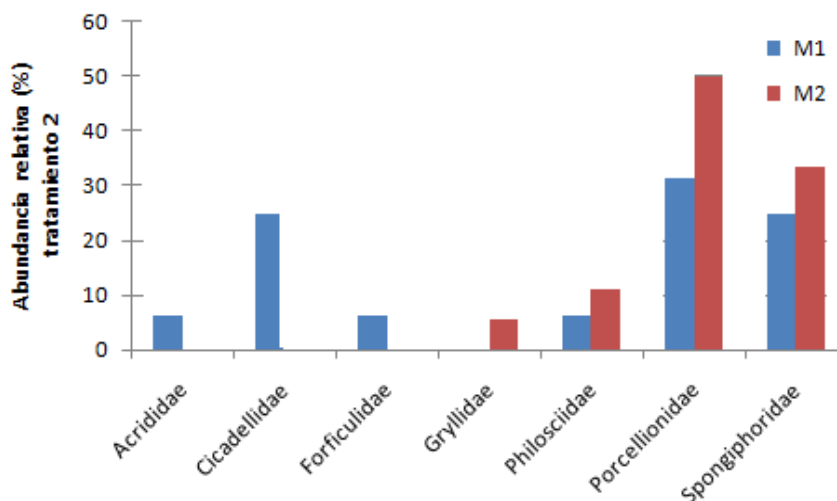


Figura 33. Abundancia relativa para las familias colectadas en trampa de caída de los estados inmaduros en el tratamiento 2 en los muestreos 1 (M1) y muestreo 2 (M2).

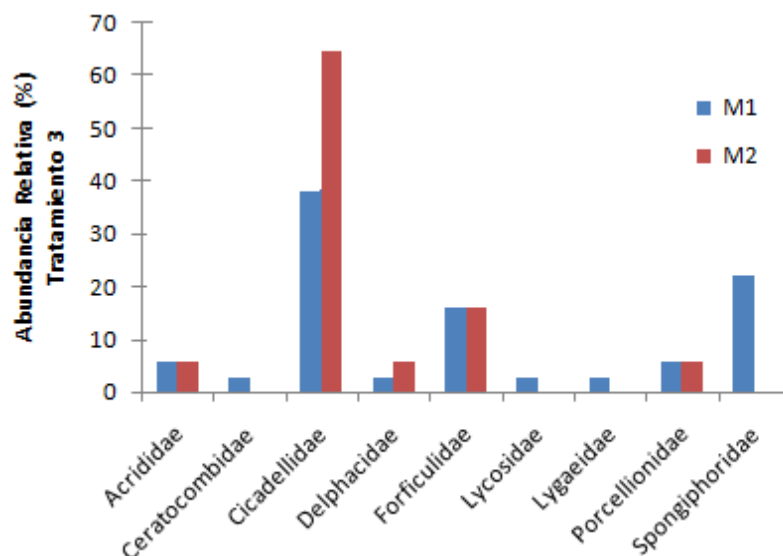


Figura 34. Abundancia relativa de las familias colectadas en trampa de caída de los estados inmaduros en el tratamiento 3 en los muestreos 1(M1) y muestreo 2(M2).

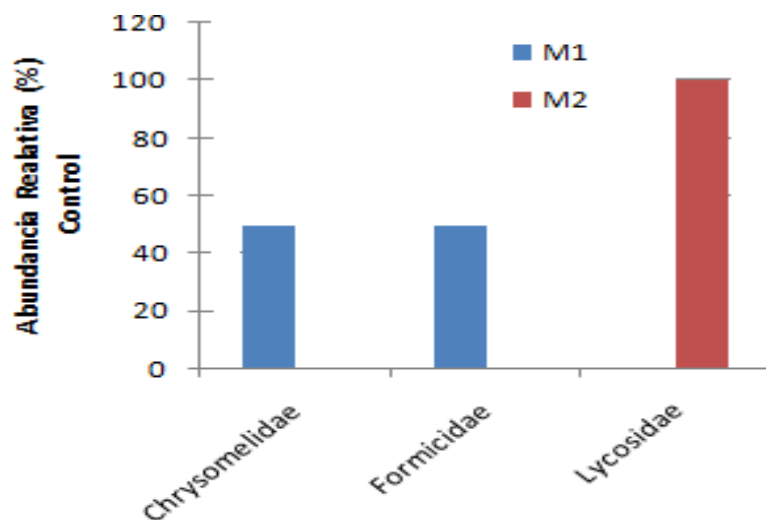


Figura 35. Abundancia relativa de las familias colectadas en trampa de caída de los estados inmaduros en el tratamiento control en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

9.4.1 Diversidad en trampa de caída.

El índice de Shannon para la macrofauna edáfica se asume que todas las especies están representadas en la muestra y son aleatoriamente muestreadas y representadas en cada uno de los tratamientos por muestreo. En el muestreo 1, el tratamiento con mayor diversidad para la macrofauna edáfica fue el tratamiento 1 ($H':1.95$), seguido por el tratamiento 3 ($H':1.77$) y el tratamiento 2 ($H':1.60$). El control obtuvo una diversidad baja ($H':2.16$). En el muestreo 2, el tratamiento 2 obtuvo la mayor diversidad ($H':2.15$), seguido por el tratamiento 1 ($H':1.80$) y el tratamiento 3 ($H':1.44$). (Figura 36).

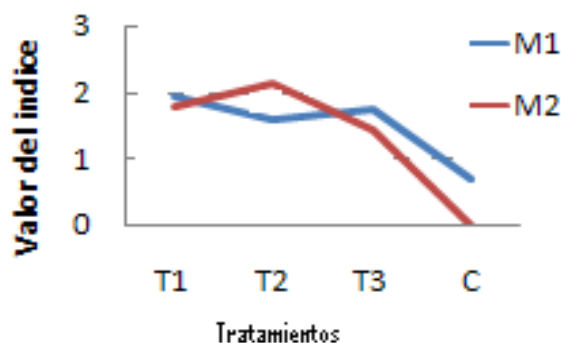


Figura 36. Índices de Shannon para los individuos de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros para cada uno de los tratamientos en trampa de caída en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

9.4.2 Equidad en trampa de caída.

Este índice representa una situación en la que los individuos de la macrofauna edáfica adulta son igualmente abundantes. En el muestreo 1, el tratamientos con mayor equidad fue el control con un valor de 1.00 seguido por los tratamientos 1 y 2 con un valor de 0.89 y el tratamiento 3 con un valor de 0.80. En el muestreo 2, el tratamiento 2 obtuvo una mayor equidad con un valor de 0.94 seguido por el tratamiento 1 con un valor de 0.86 y el tratamiento 3 con un valor de 0.80. (Figura.37).

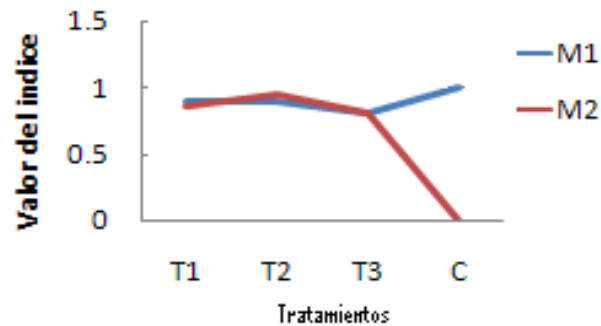


Figura 37. Índices de Equidad para los individuos de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros para cada uno de los tratamientos en trampa de caída en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

9.4.3 Dominancia en trampa de caída.

Este índice indica la probabilidad de extraer individuos de una misma especie. En el muestreo 1, el tratamiento con mayor dominancia para la macrofauna edáfica lo obtuvo el tratamiento 3 con un valor de 0.22 seguido por el tratamiento 2 con un valor de 0.17 y el tratamiento 1 con un valor de 0.12. En el muestreo 2, nuevamente el tratamiento 3 obtuvo la dominancia mas alta con un valor de 0.27 seguido del tratamiento 1 con un valor de 0.17 y el tratamiento 2 con un valor de 0.08 (Figura 38).

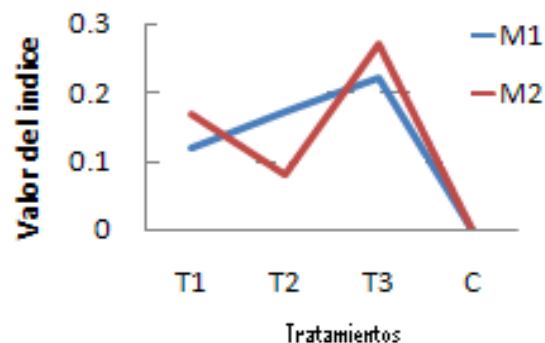


Figura 38. Índices de dominancia para los individuos de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros para cada uno de los tratamientos en trampa de caída en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

9.4.4 Análisis de correspondencia canónica en trampa de caída

El análisis de correspondencia canónica se refiere al efecto que tiene el tratamiento sobre la comunidad en estudio, que en este caso es la macrofauna edáfica adulta. En el análisis se identificó para el muestreo 1, el tratamiento 1 se encuentra asociado con 4 morfotipos, el tratamiento 2 asociado a 2 morfotipos y el tratamiento 3 asociado con 6 morfotipos (Figura. 39).

Para el muestreo 2, el tratamiento 1 se asocia con 5 morfotipos, el tratamiento 2 se asocia con 5 morfotipos y el tratamiento 3 se asocia con 5 morfotipos (Figura. 40).

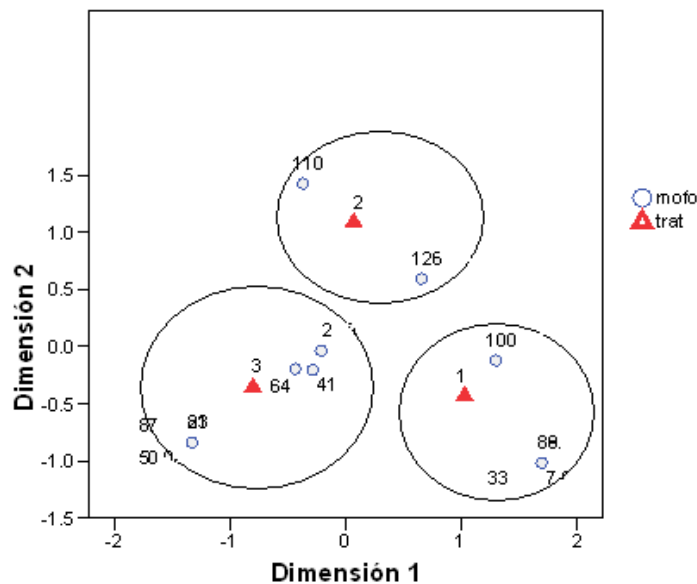


Figura 39. Análisis de correspondencia canónica de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros donde se muestran los morfotipos asociadas a cada uno de los tratamientos en trampa de caída en el muestreo 1(M1).

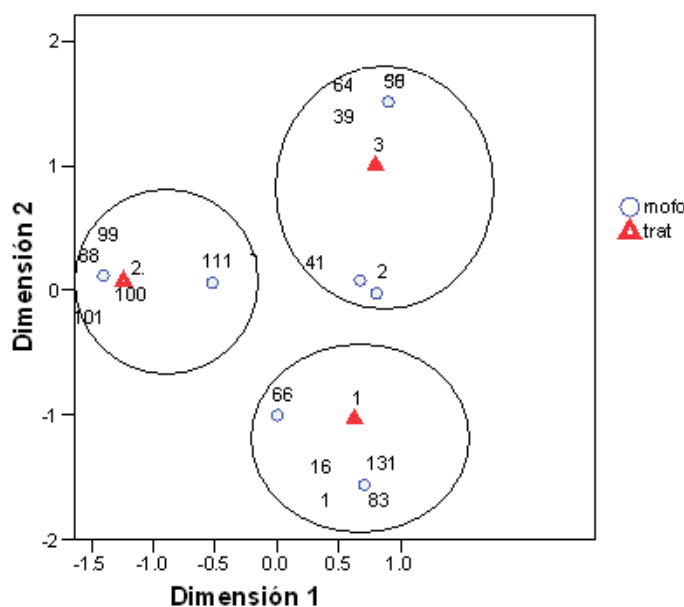


Figura 40. Análisis de correspondencia canónica de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros donde se muestran los morfotipos asociadas a cada uno de los tratamientos en trampa de caída en el muestreo 2(M2).

9.4.5 Similitud

La similitud entre los tratamientos del área experimental en términos de abundancia por morfotipo presentaron que los tratamientos que mas se asemejan entre si son el tratamiento 2 y 3 (0.54%) seguido del tratamiento 1 y 2 (0.46%) y tratamiento 1 y 3 (0.45%) (Tabla. 2).

Tabla 2. Tabla de porcentajes de similitud de Bray Curtis de macrofauna edáfica adulta e inmadura en trampa de caída entre los tratamientos y el control en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Dissimilaridad de Bray-Curtis					
T1/T2	T1/T3	T1/C	T2/T3	T2/C	T3/C
0,46%	0,45%	0,37%	0,54%	0,35%	0,31%

9.5 Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica adulta colectada por apiques (suelo).

La riqueza de especies de los tratamientos esta expresada como el número de morfoespecies colonizadoras, que para el caso de los individuos adultos disminuyo en el tiempo del muestreo 1 con 49 al muestreo 2 con 19.

Profundidad de 0 – 15 cms

Para el tratamiento 1, en el muestreo 1 se registraron 3 morfotipos: sp8 (22 indv/m²) perteneciente a la familia Staphylinidae, sp3 (4 indv/m²) de Carabidae y sp1 (2 indv/m²) de Formicidae. En el muestreo 2 la fauna edáfica colonizadora cambio, presentando 5 morfotipos diferentes: sp6 (1 indv/m²) de la familia Tetragnathidae, sp4 (2 indv/m²) de Phillosciidae, sp1 (1 indv/m²) de Porcellionidae, sp1 (2 indv/m²) de Spirobolidae y sp1(10 indv/m²) de Lumbricidae (Tabla.3).

Tabla 3. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica adulta colonizadora colectada por apiques del tratamiento 1 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Araneae	Tetragnathidae	sp6	-	1	1
Coleoptera	Staphylinidae	sp8	21	-	21
	Staphylinidae	sp7	1	-	1
	Carabidae	sp3	1	-	1
Haplotoxida	Lumbricidae	sp1	-	10	10
Spirobolida	Spirobolidae	sp1	-	2	2
Malacostraca	Phillosciidae	sp4	-	2	2
	Porcellionidae	sp1	-	1	1
Total general			23	16	30
Riqueza			3	5	8

Para el tratamiento 2, en el muestreo 1 se registraron 5 morfotipos: sp7 (1 indv/m²) perteneciente a la familia Staphylinidae, sp3 (1 indv/m²) de Carabidae, sp1

(1indv/m²) de Spongiphoridae, sp1 (2 indv/m²) Spirostreptidae y sp1 (2 indv/m²) de Lumbricidae. En el muestreo 2 la fauna edáfica colonizadora nuevamente cambio, presentando 5 morfotipos diferentes: sp1 (1 indv/m²) de la familia Blattidae, sp2 (1 indv/m²) de Henicopidae, sp1 (1 indv/m²) de Scolopendridae, sp1 (2 indv/m²) de Spirobolidae y sp1 (4indv/m²) de Lumbricidae (Tabla.4).

Tabla 4. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica adulta colonizadora colectada por apiques del tratamiento 2 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Blattodea	Blattidae	sp.1	-	1	1
Coleoptera	Staphylinidae	sp.7	1	-	1
	Carabidae	sp.3	1	-	1
Haplotoxida	Lumbricidae	sp.1	2	4	6
Dermaptera	Spongiphoridae	sp.1	1	-	1
Lithobiomorpha	Henicopidae	sp.2	-	1	1
Scolopendromorpha	Scolopendridae	sp.1	-	1	1
Spirobolida	Spirobolidae	sp.1	-	2	2
Spirostreptida	Spirostreptidae	sp.1	2	v	2
Total general			7	9	16
Riqueza			5	5	10

Para el tratamiento 3, en el muestreo 1 se registraron 5 morfotipos: sp3 (1 indv/m²) perteneciente a la familia Carabidae, sp6 (12 indv/m²) de Staphylinidae, sp1 (2 indv/m²) de Spongiphoridae, sp2 (1 indv/m²) de Henicopidae y sp1 (3 indv/m²) de

Lumbricidae. En el muestreo 2 la fauna edáfica colonizadora coincidió con el morfotipo sp3 de la familia Carabidae en el muestreo 1. Se presentaron otros 3 morfotipos diferentes: sp6 (12 indv/m²) de la familia Staphylinidae, sp1 (2 indv/m²) de Spongiphoridae y sp2 (1 indv/m²) de Henicopidae y (Tabla.5).

Para el control, en el muestreo 1 se registraron 2 morfotipos: sp8 (1 indv/m²) perteneciente a la familia Staphylinidae y sp2 (2 indv/m²) de Isotomidae. En el muestreo 2 la fauna edáfica colonizadora cambio y aumento a 2 morfotipos más, siendo un total de 4 morfotipos: sp5 (1 indv/m²) de la familia Tetragnathidae, sp3 (1 indv/m²) de Carabidae, sp6 (1 indv/m²) de Forficulidae y sp2 (1 indv/m²) de Henicopidae (Tabla.6).

Tabla 5. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica adulta colonizadora colectada por apiques del tratamiento 3 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Araneae	Tetragnathidae	sp.5	-	1	1
Coleoptera	Carabidae	sp.3	1	1	2
	Staphylinidae	sp.6	12	-	12
Dermaptera	Spongiphoridae	sp.1	2	-	2
	Forficulidae	sp.1	-	1	1
Haplotoxida	Lumbricidae	sp.1	3	-	3
Spirostreptida	Spirostreptidae	sp.1	-	1	1
Lithobiomorpha	Henicopidae	sp.2	1	-	1
Total general			19	4	23
Riqueza			5	4	9

Tabla 6. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica adulta colonizadora colectada por apiques del tratamiento control en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Araneae	Tetragnathidae	sp.5	-	1	1
Coleoptera	Carabidae	sp.3	-	1	1

	Staphylinidae	sp.8	1	-	1
Collembola	Isotomidae	sp.2	2	-	2
Dermaptera	Forficulidae	sp.1	-	1	1
Lithobiomorpha	Henicopidae	sp.2	-	1	1
Total general			3	4	7
Riqueza			2	4	6

Profundidad de 15-30 cms

A continuación, para la macrofauna adulta en el muestreo 1 y 2 a esta profundidad se registraron tan solo 3 individuos. Descritos de la siguiente forma para cada tratamiento.

Para el tratamiento 1, en el muestreo 1 se registro únicamente el morfotipo: sp1 (1 indv/m²) de la familia Formicidae y en el muestreo 2 fueron ausentes. Para el tratamiento 2, en el muestreo 1 y 2 se registro 1 morfotipo: sp8 (1 indv/m²) de la familia Staphylinidae y en el segundo muestreo el morfotipo sp1 (1 indv/m²) de Porcellionidae. Para el tratamiento 3, se presento para el muestreo 1 el morfotipo sp1 (1 indv/m²) de la familia Curculionidae y para el segundo muestreo el morfotipo sp1 (1 indv/m²) de la familia Spirobolidae. Finalmente, el control el muestreo 1 no presento individuos pero si en el muestreo 2, con el morfotipo sp1 (1 indv/m²) perteneciente a la familia Spirobolidae.

9.6 Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colectada por apiques (suelo).

La riqueza de especies de los tratamientos expresada como el número de morfoespecies colonizadoras, que para este caso de los individuos de la macrofauna edáfica de los individuos adultos no obtuvo una diferencia en el tiempo con respecto a la riqueza donde el muestreo 1 registro 20 individuos y el muestreo 2 con 22 individuos.

Profundidad de 0 – 15 cms

La riqueza de especies de los tratamientos esta expresada como el número de morfoespecies colonizadoras, que para el caso de los individuos adultos disminuyo en el tiempo del muestreo 1 con 49 al muestreo 2 con 19.

Para el tratamiento 1, en el muestreo 1 se registraron 3 morfotipos: sp.3 (3 indv/m²) perteneciente a la familia Scarabaeidae, sp.1 (1 indv/m²) de Porcellionidae y sp.1 (2 indv/m²) de Spirobolidae. En el muestreo 2 la fauna edáfica colonizadora cambio, presentando 3 morfotipos diferentes: sp.1 (2 indv/m²) de la familia Scarabaeidae, sp.3 (1 indv/m²) de Staphylinidae, sp.1 (1 indv/m²) de Carabidae (Tabla.7).

Tabla 7. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colonizadora colectada por apiques del tratamiento 1 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Coleoptera	Scarabaeidae	sp.3	3	-	3
	Scarabaeidae	sp.1	-	2	2
	Staphylinidae	sp.3	-	1	1
	Carabidae	sp.1	-	1	1
Malacostraca	Porcellionidae	sp.1	1	-	1
Spirobolida	Spirobolidae	sp.1	2	-	1
Total general			6	4	10
Riqueza			3	3	6

Para el tratamiento 2, en el muestreo 1 se registraron 5 morfotipos: sp1 (1 indv/m²) perteneciente a la familia Curculionidae, sp3 (2 indv/m²) de Scarabaeidae, y 2 morfotipos sp3 (1 indv/m²) y sp1 (1 indv/m²) pertenecientes a la familia Staphylinidae y sp1(1 indv/m²) de Porcellionidae. En el muestreo 2 la fauna edáfica colonizadora redujo su riqueza como en este caso, presentando solo un morfotipo: sp1 (1 indv/m²) de Porcellionidae (Tabla.8).

Tabla 8. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colonizadora colectada por apiques del tratamiento 2 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Coleoptera	Curculionidae	sp.1	1	-	1
	Scarabaeidae	sp.3	2	-	2
	Staphylinidae	sp.3	1	-	1
		sp.1	1	-	1
Dermaptera	Spongiphoridae	sp.1	2	-	2
Malacostraca	Porcellionidae	sp.1	-	1	1
Total general			7	1	8
Riqueza			5	1	6

Para el tratamiento 3, en el muestreo 1 se registraron 5 morfotipos: sp1 (1 indv/m²) perteneciente a la familia Elateridae, sp1 y sp4 con (2 indv/m²) y (1 indv/m²) respectivamente de la familia Staphylinidae, sp3 (1 indv/m²) de Scarabaeidae y (1 indv/m²) pertenecientes a la familia Staphylinidae, sp3 (1 indv/m²) de Scarabaeidae y sp4 de Noctuidae. En el muestreo 2, se registraron 6 morfotipos: sp3 y sp1 con (2 indv/m²) y (1 indv/m²) respectivamente de la familia Scarabaeidae, sp1 (1 indv/m²) de Spongiphoridae, sp1 (1 indv/m²) de Diapriidae y sp2 (1 indv/m²) de Henicopidae (Tabla.9).

Para el control, en el muestreo 1 se registro 1 morfotipo: sp1 (2 indv/m²) perteneciente a la familia Aradidae y en el muestreo 2 la fauna edáfica fue mas alta con respecto al muestreo 1 con 5 morfotipos: sp1 y sp3 con (1 indv/m²) y (2 indv/m²) de la familia Scarabaeidae, sp1 (1 indv/m²) de la familia Spongiphoridae, sp2 (1 indv/m²) de la familia Henicopidae y sp1 (1 indv/m²) de la familia Scolopendridae (Tabla.10).

Tabla 9. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colonizadora colectada por apiques del tratamiento 3 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
-------	---------	-----------	----	----	-------

Coleoptera	Elateridae	sp.1	1	-	1
	Staphylinidae	sp.1	2	-	2
		sp.4	1	-	1
	Scarabaeidae	sp.3	1	2	3
		sp.1	-	1	1
Dermaptera	Spongiphoridae	sp.1	-	1	1
Hymenoptera	Diapriidae	sp.1	-	1	1
Lithobiomorpha	Henicopidae	sp.2	-	1	1
Lepidoptera	Noctuidae	sp.4	1	-	1
Scolopendromorpha	Scolopendridae	sp.1	-	1	1
Total general			6	7	13
Riqueza			5	6	11

Tabla 10. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colonizadora colectada por apiques del tratamiento control en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Coleoptera	Scarabaeidae	sp.1	-	1	1
		sp.3	-	2	2
Dermaptera	Spongiphoridae	sp.1	-	1	1
Hemiptera	Aradidae	sp.1	2	-	2
Lithobiomorpha	Henicopidae	sp.2	-	1	1
Scolopendromorpha	Scolopendridae	sp.1	-	1	1
Total general			2	6	8
Riqueza			2	5	7

Profundidad de 15-30 cms

La riqueza de especies de los tratamientos esta expresada como el número de morfoespecies colonizadoras, que para el caso de los individuos de los estados inmaduros fueron en el tiempo del muestreo 1 con 6 y en el muestreo 2 con 8.

A esta profundidad fueron pocos los individuos encontrados. Sin embargo, para el tratamiento 1 se obtuvieron para el segundo muestreo, 2 morfotipos: sp1 y sp3 con (5

indv/m²) y (1 indv/m²) respectivamente para la familia Scarabaeidae. Para el tratamiento 2, se tienen 2 morfotipos así: sp3 (4 indv/m²) para la familia Scarabaeidae y sp1 (3 indv/m²) de Spongiphoridae. Para el tratamiento 3 se encontró 2 morfotipos distribuidos en los dos muestreos así: sp1 (1 indv/m²) de la familia Spongiphoridae y sp1 (1 indv/m²) de la familia Elateridae. Finalmente, para los tratamientos control no se encontraron individuos en esta profundidad.

9.7 Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica adulta colectada en trampa de caída (pitfall).

La riqueza de especies de los tratamientos expresada como el número de morfoespecies colonizadoras, que para este caso de los individuos de la macrofauna edáfica adulta, obtuvo una diferencia en el tiempo con respecto a la riqueza donde el muestreo 1 registro 329 individuos y el muestreo 2 con 470 individuos.

Para el tratamiento 1, en el muestreo 1 se observa que el morfotipo sp1 de la familia Spongiphoridae (20 indv/m²) fue la que obtuvo mas riqueza, seguido del morfotipo sp1 de la familia Lycosidae (10 indv/m²). En el muestreo 2 se evidencio nuevamente que el morfotipo colonizador fue nuevamente sp1 de la familia Lycosidae (27 indv/m²) con mayor riqueza, seguida del morfotipo sp1 de la familia Entomobryidae (23 indv/m²) (Tabla.11).

Para el tratamiento 2, en el muestreo 1 se observa que el morfotipo sp1 de la familia Lycosidae (19 indv/m²) seguido del morfotipo sp1 de la familia Spongiphoridae (11 indv/m²), donde ambas familias nuevamente aparecen como colonizadoras. En el muestreo 2 el morfotipo colonizador fue nuevamente sp1 de la familia

Spongiphoridae (17 indv/m²) con mayor riqueza, seguida del morfotipo sp1 de la familia Sminturidae (11 indv/m²) como nueva colonizadora para este tratamiento y muestreo (Tabla.12).

Tabla 11. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica adulta colonizadora colectada en trampa de caída del tratamiento 1 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Araneae	Anyphaenidae	sp.1	1		1
	Lycosidae	sp.1	10	27	37
		sp.3	1	3	4
		sp.4	1	3	4
		sp.5	-	1	1
	Linyphiidae	sp.1	1	-	1
	Tetragnathidae	sp.6	5	-	5
Coleoptera	Carabidae	sp.1	1	2	3
		sp.2	1	5	6
		sp.4	-	2	2
	Chrysomelidae	sp.3	1	-	1
	Nitidulidae	sp.5	-	2	2
		sp.4	-	1	1
	Chrysomelidae	sp.3	-	1	1
	Scarabaeidae	sp.1	3	1	4
	Staphylinidae	sp.1	1	-	1
		sp.8	-	1	1
Collembola	Entomobryidae	sp.1	6	23	29
	Isotomidae	sp.1	-	1	1
	Sminthuridae	sp.1	-	14	14
Dermaptera	Spongiphoridae	sp.1	20	2	22
	Forficulidae	sp.1	-	1	1
Hemiptera	Ceratocombidae	sp.1	1	-	1
	Cicadellidae	sp.3	-	2	2
		sp.4	3	1	4
		sp.5	-	2	2

		sp.6	-	1	1
		sp.7	-	3	3
	Delphacidae	sp.2	2	-	2
	Miridae	sp.3	-	2	2
Hymenoptera	Braconidae	sp.2	1	-	1
		sp.3	1	-	1
	Eucilidae	sp.1	1	-	1
	Formicidae	sp.1	4	6	10
	Halictidae	sp.1	1	-	1
	Diapriidae	sp.2	1	-	1
		sp.1	-	1	1
	Ichneumonidae	sp.2	1	-	1
Lithobiomorpha	Henricopidae	sp.1	1	-	1

Tabla 11 (Continuación). Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica adulta colonizadora colectada en trampa de caída del tratamiento 1 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Malacostraca	Philosciidae	sp.1	1	-	1
	Porcellionidae	sp.1	1	3	4
		sp.2	-	2	2
Opiliones	Cosmetidae	sp.1	1	2	3
		sp.2	2	2	4
	Sclerosomatidae	sp.1	-	1	1
Total general			72	118	190
Riqueza			28	30	58

Tabla 12. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica adulta colonizadora colectada en trampa de caída del tratamiento 2 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Araneae	Lycosidae	sp.1	19	-	19
		sp.3	3	-	3
		sp.4	3	-	3
	Anapidae	sp.1	1	-	1
	Tetragnathidae	sp.6	1	-	1

		sp.5	1	-	1
	Heteropodidae	sp.1	1	-	1
Coleoptera	Chrysomelidae	sp.6	2	-	2
	Endomychidae	sp.1	1	-	1
	Curculionidae	sp.2	1	-	1
	Ptilidae	sp.1	1	1	1
	Carabidae	sp.4	1	-	1
	Staphylinidae	sp.8	1	-	1
		sp.9	6	-	6
Collembola	Entomobryidae	sp.1	4	2	4
	Sminthuridae	sp.1	-	11	11
Dermaptera	Spongiphoridae	sp.1	11	17	38

Tabla 12 (Continuación). Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica adulta colonizadora colectada en trampa de caída del tratamiento 2 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfortipo	M1	M2	Total
Hemiptera	Cicadellidae	sp.6	3	4	7
		sp.3	1	-	1
		sp.1	4	-	4
		sp.4	1	-	1
		sp.7	-	2	2
	Miridae	sp.2	3	-	3
Hymenoptera	Pompilidae	sp.1	2	-	2
	Ichneumonidae	sp.1	1	-	1
	Tetracampidae	sp.1	-	1	1
	Formicidae	sp.1	-	1	1
Malacostraca	Porcellionidae	sp.1	6	2	8
		sp.3	-	2	2
	Philosciidae	sp.2	2	-	2
Neuroptera	Hemerobiidae	sp.1	1	-	1
Opiliones	Cosmetidae	sp.2	5	-	5
	Cosmetidae	sp.1	4	-	4
Polydesmida	Cryptodesmidae	sp.2	2	-	2
Total general			92	47	139
Riqueza			29	10	39

Para el tratamiento 3, en el muestreo 1 se observa que el morfortipo sp1 de la familia Entomobryidae (36 indv/m²) seguido del morfortipo sp3 de la familia

Chrysomelidae(11 indiv/m²), siendo estas nuevas colonizadoras. En el muestreo 2 el morfotipo colonizador sp1 de la familia Entomobryidae (84 indiv/m²) con mayor riqueza, seguida del morfotipo sp1 de la familia Lycosidae (29 indiv/m²) apareciendo nuevamente como colonizadora para este tratamiento (Tabla.13).

Para el control, en el muestreo 1 se observa que el morfotipo sp1 de la familia Entomobryidae (36 indiv/m²) seguido del morfotipo sp3 de la familia Chrysomelidae (11 indiv/m²), siendo estas nuevas colonizadoras. En el muestreo 2 el morfotipo colonizador sp1 de la familia Entomobryidae (84 indiv/m²) con mayor riqueza, seguida del morfotipo sp1 de la familia Lycosidae (29 indiv/m²) apareciendo nuevamente como colonizadora para este tratamiento (Tabla.14).

Tabla 13. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica adulta colonizadora colectada en trampa de caída del tratamiento 3 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Araneae	Lycosidae	sp.1	5	29	34
		sp.3	1	2	3
		sp.4	9	8	17
		sp.5	1	2	3
		sp.6	-	1	1
	Linyphiidae	sp.1	1	-	1
	Tetragnathidae	sp.5	1	2	3
		sp.6	-	1	1
	Hexathelidae	sp.1	-	1	1
Coleoptera	Carabidae	sp.1	1	2	3
		sp.2	7	2	9
		sp.4	1	4	5
		sp.3	-	1	1
		sp.5	-	1	1
	Chrysomelidae	sp.2	-	1	1
		sp.3	11	2	13
		sp.4	1	-	1
	Curculionidae	sp.2	-	1	1
	Nitidulidae	sp.3	4	-	4
		sp.4	-	2	2
		sp.5	-	1	1
	Scarabaeidae	sp.1	1	4	5
	Staphylinidae	sp.1	3	1	4
Collembola	Entomobryidae	sp.1	36	84	120

	Isotomidae	sp.2	3	-	3
	Sminthuridae	sp.1	-	9	9
Dermaptera	Spongiphoridae	sp.1	5	9	14
Dermaptera	Forficulidae	sp.1	-	4	4
Hemiptera	Cicadellidae	sp.5	3	-	3
		sp.3	-	2	2
		sp.4	-	2	2
		sp.7	-	2	2
		sp.5	-	1	1
	Delphacidae	sp.1	1	-	1
	Miridae	sp.2	2	-	2

Tabla 13 (Continuación). Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica adulta colonizadora colectada en trampa de caída del tratamiento 3 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Hymenoptera	Adrenidae	sp.1	1	-	1
	Diapriidae	sp.3	1	-	1
		sp.1	1	1	2
	Formicidae	sp.1	4	3	7
	Ichneumonidae	sp.3	1	-	1
		sp.4	-	1	1
		sp.5	-	1	1
	Mymarommatidae	sp.1	1	-	1
	Pompilidae	sp.1	1	-	1
Malacostraca	Porcellionidae	sp.1	1	-	1
		sp.2	1	1	2
	Philosciidae	sp.1	1	-	1
Total general			110	186	296
Riqueza			30	31	61

Tabla 14. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica adulta colonizadora colectada en trampa de caída del tratamiento control en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Araneae	Lycosidae	sp.1	-	3	3
		sp.4	-	3	3

		sp.3	1	-	1
	Tetragnathidae	sp.4	1	-	1
Coleoptera	Chrysomelidae	sp.3	2	1	3
		sp.1	1	-	1
	Staphylinidae	sp.2	-	1	1
		sp.8	-	1	1
Collembola	Isotomidae	sp.2	9	-	9
	Entomobryidae	sp.1	32	70	102
	Sminthuridae	sp.1	-	25	25
	Isotomidae	sp.4	-	3	3
Hemiptera	Cicadellidae	sp.4	1	1	2
		sp.1	1	-	1
		sp.7		1	1

Tabla 14 (Continuación). Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica adulta colonizadora colectada en trampa de caída del tratamiento control en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Hymenoptera	Apidae	sp.1	1	-	1
	Formicidae	sp.1	1	-	1
	Pompilidae	sp.1	-	1	1
	Apidae	sp.2	-	2	2
Malacostraca	Philosciidae	sp.1	1	-	1
	Porcellionidae	sp.2	-	2	2
Opiliones	Cosmetidae	sp.1	1	-	1
		sp.2	-	1	1
Thysanoptera	Thripidae	sp.1	-	1	1
Total general			42	16	58
Riqueza			12	15	27

9.8 Riqueza de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colectada en trampa de caída (pitfall).

La riqueza de especies de los tratamientos expresada como el número de morfoespecies colonizadoras, que para este caso de los individuos de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros, obtuvo una diferencia en el tiempo con respecto a la riqueza donde el muestreo 1 registro 74 individuos y el muestreo 2 con 92 individuos.

Para el tratamiento 1, en el muestreo 1 se observa que el morfotipo sp1 de las familia Cicadellidae y Philosciidae (5 indv/m²) para cada familia fue la que obtuvo mas riqueza, seguido del morfotipo sp1 de la familia Spongiphoridae (4 indv/m²). En el muestreo 2 se evidencio nuevamente que el morfotipo colonizador fue nuevamente sp1 de la familia Lycosidae (29 indv/m²) con mayor riqueza, seguida del morfotipo sp1 de la familia Cicadellidae (7 indv/m²) (Tabla.15).

Para el tratamiento 2, en el muestreo 1 se observa que el morfotipo sp1 de la familia Porcellionidae (5 indv/m²) seguido del morfotipo sp1 para las familias Spongiphoridae y Cicadellidae (4 indv/m²). En el muestreo 2 se evidencio nuevamente que el morfotipo colonizador fue nuevamente para este tratamiento y en el 2 muestreo el morfotipo sp1 de la familia Spongiphoridae (6 indv/m²) con igual riqueza al morfotipo sp1 de la familia Porcellionidae (6 indv/m²) (Tabla.16).

Tabla 15. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colonizadora colectada en trampa de caída del tratamiento 1 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Araneae	Lycosidae	sp.1	-	29	29
Coleoptera	Chrysomelidae	sp.2	1	-	1
	Staphylinidae	sp.2	-	2	2
	Carabidae	sp.1	-	1	1
Dermaptera	Spongiphoridae	sp.1	4	-	4
	Forficulidae	sp.1	1	-	1
Hemiptera	Cicadellidae	sp.1	5	-	5
	Miridae	sp.2	1	-	1
	Aphididae	sp.1	1	-	1
	Cicadellidae	sp.1	-	7	7
Microcoryphia	Meinertellidae	sp.1	1	-	1
Malacostraca	Philosciidae	sp.1	5	-	5
	Porcellionidae	sp.2	-	1	1
Orthoptera	Acrididae	sp.2	1	1	2
		sp.1	-	2	2
	Gryllidae	sp.1	-	2	2
Total general			20	45	65

Riqueza			9	8	17
---------	--	--	---	---	----

Tabla 16. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colonizadora colectada en trampa de caída del tratamiento 2 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Dermaptera	Forficulidae	sp.1	1	-	1
	Spongiphoridae	sp.1	4	6	10
Hemiptera	Cicadellidae	sp.1	4	-	4
Malacostraca	Porcellionidae	sp.1	5	6	11
		sp.2	-	3	3
	Philosciidae	sp.1	1	2	3
Orthoptera	Acrididae	sp.2	1	-	1
	Gryllidae	sp.1	-	1	1
Total general			16	18	34
Riqueza			6	5	11

Para el tratamiento 3, en el muestreo 1 se observa que el morfotipo sp.1 de la familia Cicadellidae (14 indv/m²) tuvo una mayor riqueza seguida del morfotipo sp.1 para la familia Spongiphoridae (8 indv/m²). En el muestreo 2 se evidencio nuevamente que el morfotipo colonizador fue nuevamente el morfotipo sp.1 de la familia Cicadellidae (8 indv/m²) (Tabla.17).

Tabla 17. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colonizadora colectada en trampa de caída del tratamiento 3 en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Araneae	Lycosidae	sp.1	1	-	1
Dermaptera	Forficulidae	sp.1	6	3	9
	Spongiphoridae	sp.1	8	-	8
Hemiptera	Delphacidae	sp.1	1	1	2
	Ceratocombidae	sp.2	1	-	1
	Lygaeidae	sp.2	1	-	1
	Cicadellidae	sp.1	14	8	22
		sp.2	-	2	2
		sp.6	-	1	1
Malacostraca	Porcellionidae	sp.1	2	-	2
		sp.2	-	1	1
Orthoptera	Acrididae	sp.2	2	1	3
Total general			36	17	53
Riqueza			9	7	16

Para el control, no hubo relevancia con respecto a la riqueza obtenida en cada una de los muestreos (Tabla.18).

Tabla 18. Densidad por morfoespecie (indv/m²) de la macrofauna edáfica de los estados inmaduros colonizadora colectada en trampa de caída del tratamiento control en el muestreo 1(M1) y muestreo 2(M2).

Orden	Familia	Morfotipo	M1	M2	Total
Araneae	Lycosidae	sp.1	-	8	8
Coleoptera	Chrysomelidae	sp.1	1	-	1
Hymenoptera	Formicidae	sp.1	1	-	1
Total general			2	8	10
Riqueza			2	1	3

10. Discusión:

Definir con exactitud el efecto real de los biosolidos como enmienda para suelos degradados a causada de la minería a cielo abierto y el efecto que estos tienen sobre la macrofauna edáfica, es para este caso, tema de discusión debido a que son pocos los estudios que se han enfocado en esta clase de temas.

Sin embargo, la información acerca de la implementación de biosolidos ha descrito que esta clase de enmienda podría facilitar la llegada de la fauna edáfica, al promover el aumento de materia orgánica como alimento para tal fauna. Por ejemplo, Barrera *et al.*, (2001) en un estudio demuestra que la aplicación de biosolidos favorece la fertilización del suelo y en consecuencia que la densidad de lombrices era alta en los tratamientos enmendados con biosolidos, permitiendo su establecimiento y permanencia en la zona de aplicación.

Por otro lado, la aplicación de biosolidos no solo favorece la llegada y establecimiento de la macrofauna edáfica sino que también la microfauna del suelo se ve favorecida en el caso donde los biosolidos tienen mayor proporción al cabo de un

a;o de su implementación (Alassiuty, 2000).

Finalmente, para este grupo final de autores relevantes que demuestran los beneficios y efecto de los biosólidos sobre la fauna edáfica y para efectos de este trabajo, Granados, (2005) concluye en su trabajo de grado que *los biosólidos pueden ser una buena alternativa de enmienda orgánica para el establecimiento del suelo en áreas disturbadas* y que los biosólidos en menores proporciones (tratamientos 1 y 2) tienen una mayor diversidad y la riqueza y que por otro lado los biosólidos en mayor proporción (tratamiento 3) se vio favorecida la abundancia.

La llegada de la macrofauna fue favorecida desde un principio del experimento al encontrar un nicho vacante (Helrbold & Moyle, 1986), es decir, las especies de fauna y vegetación principalmente, encontraron un espacio propicio para su establecimiento con la ayuda del biosólido.

Los biosólidos al favorecer la llegada de la vegetación influyen temporalmente en la composición florística (Alcañiz, 1998), lo que aumenta los recursos de la fauna que en el caso de los artrópodos migran por movimientos triviales, es decir, que se relacionan con la adquisición inmediata de comida (Salvador, 1968). Esto indica que la probabilidad de llegada de la macrofauna edáfica a las parcelas tratadas con biosólidos es más eficiente debido a que en ellas el nacimiento de la vegetación les proporciona un nuevo recurso para su establecimiento.

Los biosólidos tienen un efecto sobre la macrofauna edáfica, debido a que su adición puede promover el repoblamiento y la actividad de esta fauna al aumentar la disponibilidad de alimento y transformar el hábitat (Barrera *et al.*, 2001).

Debido a la humedad que presentan los biosólidos según Guacaneme (2005) de la PTAR con un 66.6 %, ha permitido que la fauna edáfica en estado inmaduro complete su ciclo biológico al ser este un componente necesario para su desarrollo.

De acuerdo a los resultados obtenidos de este estudio, se observó que los tratamientos en comparación con el grupo control tuvieron diferencias significativas con respecto al repoblamiento de la macrofauna edáfica, lo que confirma que la densidad de las poblaciones de artrópodos es mayor en las zonas tratadas con biosólidos (Alcañiz, 2003; Granados, 2005). Por otro lado, la presencia de biosólidos al favorecer también el establecimiento de la vegetación, favorece y alberga la fauna edáfica (Ochoa, 2005).

Estas diferencias se deben a que el grupo control con ausencia de biosólido, no tiene un complemento que facilite el repoblamiento de especies vegetales y de los animales que se van a ver beneficiados para asegurar su estadía y cumplir con sus funciones en el ecosistema.

Hubieron diferencias en la diversidad y dominancia entre tratamientos y el grupo control, debido a que los biosólidos pueden simultáneamente influenciar sobre las poblaciones del suelo (Barrera et al. 2000).

Sin embargo, en este estudio no se observaron cambios a través del tiempo a comparación de estudios anteriores realizados en el área experimental por Granados 2005. Es decir, probablemente la comunidad está experimentando un proceso de sucesión denominado clímax, pues la comunidad ha presentado una amplia diversidad de especies (Smith & Smith, 2000).

Aunque no hay cambios en el tiempo, el tratamiento 3 (T3) con mayor proporción de biosólido obtuvo una mayor diversidad. Esto contradice los resultados de Granados (2005), en donde se dice que a menor proporción de biosólido favorece el repoblamiento de la fauna. Con respecto a lo anterior, se podría decir que desde un principio de la aplicación de biosólidos en el repoblamiento de la fauna edáfica es más eficiente en parcelas con menor proporción de biosólido. Sin embargo, con el

tiempo sus nutrientes pudieron haber disminuido afectando la composición de la fauna y esta aumentando en parcelas donde aún los nutrientes existen como en el caso de las parcelas con mayor proporción.

La presencia del orden Collembola se debe a la cantidad de materia orgánica como hojarasca y a que están restringidos a medios semi-húmedos (Galindo 1985). Lo que indica, que los biosólidos benefician su llegada y establecimiento debido a su alto contenido de materia orgánica.

Las diferencias presentadas entre los tratamientos y el grupo control, podría estar afectada según la estructura de la vegetación y la creación de pequeños microclimas (Hendrik et al, 1988; Sousa, 1984). Es decir, según la proporción de biosólido pudo haber creado nuevos hábitats para las especies encontradas en cada una de las parcelas experimentales y sus tratamientos respectivos favorezcan su estadio.

Con respecto a lo anterior durante los dos muestreos se encontró individuos no pertenecientes a la fauna edáfica como la fauna voladora, que debido a su capacidad de vuelo pueden colonizar más rápido un área determinada y la fauna epigea con movimientos relativamente rápidos (Borror, 1992); estos se tuvieron en cuenta como indicadores, debido a que se podría estar generando un microclima adecuado como se menciono anteriormente.

Según los resultados obtenidos, la aparición de lombrices en el área experimental se debe a que varios autores aseguran que los pájaros tienen un papel importante en la dispersión de lombrices a nuevos hábitats, especialmente por la caída de la captura de gusanos con el pico para alimentar a juveniles (Edwards y Bohlen. 1996). Lo anterior, podría explicar como las lombrices llegaron hasta las parcelas pues la migración de estas al área experimental, puede ser crucial y peligrosa debido a que estarían más expuestas a los depredadores que rondan la zona.

Con respecto al segundo muestreo se ha observado que la composición de individuos en estado adulto disminuye y el número de estadio larval ha aumentado. Por ello se considera que el clima es un factor activo en la edafogénesis (Porta, 1999). Es decir, la época de lluvia para el segundo muestreo favorece el ciclo de vida de los estados inmaduros al aumentar su humedad.

En cuanto a la familia Echiuraeidae se observó que para este seguimiento disminuye su población. Esto puede indicar que el suelo ha disminuido tal vez en un porcentaje su humedad y calidad de materia orgánica pero en bajas proporciones, importante para esta familia que por lo general fluctúan mucho a lo largo del año (Jordana, 1996).

La actividad y fisiología de los suelos ante una variación del medio, su respuesta y capacidad de reacción ante perturbaciones depende de las diferentes especies que en él viven. Esto se debe a que especies oportunistas muy poco representadas, son las que comenzarán la colonización en el medio perturbado, convirtiéndose en especies colonizadoras de la nueva sucesión (Jordana, 1996).

Con respecto al análisis de Bray Curtis se observó que entre los tratamientos hay baja similitud durante los muestreos 1 y 2, ya que los valores se encuentran por debajo del 50%. Esto podría deberse a que con el pasar del tiempo cada uno de los tratamientos ha adquirido características que definen su composición y diversidad.

Finalmente para el CDA (análisis de correspondencia canónica) se observó la interrelación entre especies y tratamientos en los dos muestreos y las distancias sobre el espacio y la afinidad entre atributos no comunes donde el tratamiento 3 en el muestreo 1 y 2 se encuentran en un área relativamente cercana a la de los demás tratamientos. Esto podría estar indicando que este tratamiento reúne con el tiempo las características que favorecen el repoblamiento de la macrofauna edáfica.

Sin embargo, para las muestras de suelo de las parcelas tratadas con biosólido de una

profundidad de 0-15 cm no se encontró una gran proporción de individuos adultos a comparación de una profundidad de 15-30 cm. Esto puede deberse a que el suelo tiene una buena capacidad de retención de agua necesaria para la supervivencia de especies vegetales en las profundidades de 15-30 cm, que sirven de alimento para larvas en especial la familia Scarabaeidae que fue la más observada pues necesita un grado adecuado de humedad (Ruiz y Posada, 1986). Además, Guacaneme, (2005) encontró que los porcentajes de carbono orgánico y de humedad fue alta en profundidades de 15-30 cm en todos los tratamientos, necesario para la permanencia de la fauna edáfica.

La familia de artrópodos con más éxito fue la familia Lycosidae para los tratamientos 1 y 2 y para el tratamiento 3 la familia Entomobridae. Esto podría deberse a que la abundancia en estas parcelas, han sido fuente de alimento para la familia Lycosidae que son depredadores de invertebrados (Borror, 1989) favoreciendo su estadía. En el caso del tratamiento 3 para la familia Entomobridae al necesitar de materia orgánica para su establecimiento (Galindo, 1985), podría indicar porque el tratamiento 3 ha sido hasta el momento el elegido pues la materia orgánica es fundamental para los individuos y que según Guacaneme 2005, este tratamiento presentó los niveles más altos de materia orgánica entre otros componentes.

11. Conclusiones

- Existen diferencias significativas entre las parcelas tratadas con diferentes porciones de biosólidos (tratamientos 1,2 y 3) y las parcelas con ausencia de biosólidos (grupo control). Pues la aplicación de biosólidos en zonas degradadas favorece el repoblamiento de la macrofauna edáfica.
- Las diferencias en la diversidad y dominancia obtenidas entre los tratamientos y el grupo control, indica que los tratamientos con mayor proporción de biosólido favorecen el repoblamiento de la macrofauna edáfica.
- La utilización de biosólidos como enmienda orgánica para la restauración de zonas degradadas, puede ser una buena alternativa para la recuperación de estas zonas. Además puede ser una buena alternativa para controlar ciertos productos generados por la población de la ciudad de Bogotá D.C.

12. Recomendaciones

- Realizar más estudios acerca del efecto de los biosólidos sobre el repoblamiento de la macrofauna edáfica, para poder debatir más acerca del tema.
- Efectuar mas estudios con un tiempo mas prolongado en su monitoreo para evaluar el cambio de la población de la macrofauna edáfica y conocer la proporción adecuada que se debe aplicar, debido a que con el paso del tiempo los resultados varían.

13. Bibliografía

- ALCANIZ, J., L. COMELLAS, M. PUJOLÁ y E. SERRA. 1998. Utilización de Depuración en la Rehabilitación de Suelos de Canteras. *Ingeopres*. 59: 28-34.
- ALCANIZ, J. 2003. Utilización de Lodos de depuradoras Urbanas en la Restauración de Canteras. Curso Internacional de Restauración Ecológica de Canteras y el uso de biosólidos. Pontificia Universidad Javeriana. 28 de Julio – 2 de Agosto de 2003. Bogotá D.C.
- BARRERA, I., P. ANDRÉS and ALCANIZ. 2001. Sewage Sludge Application on Soil: Effects on two Species Earthworm Species. *Water, Air, and Soil Pollution*. 129: 319 – 332.
- BARRERA, I y H. Ríos. 2002. Acercamiento a la Ecología de la Restauración. *Pérez Arbelaezia* 13: 33-46.
- BAÉZ, M. 2003. Estado Actual de las Canteras Sometidas a Procesos de Recuperación Aplicadas a los Predios Mineros de Soratama y Servitá Pertenecientes a la Localidad de Usaquén. Tesis pregrado. Pontificia Univeridad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Ecología.
- BARRERA, I., P. ANDRÉS AND J. ALCANIZ. 2001. Sewage Sludge Application on Soil: Effects on Two Species Earthworm Species. *Water, Air, and Soil Pollution*. (129): 319-332.
- Bogotana de Aguas de saneamiento (B.A.S) 2002. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales el Salitre –Fase I- Folleto. Bogotá D.C.
- BRADSHAW. A. 2003. The Restoration and Management of Derelict Land. Editorial World Scientific. Pp 300.
- BROWN, S. And A. Lugo . 1994. Rehabilitation of Tropical Lands: A key to Sustaining Development. *Restoration Ecology*. 2 82): 97-111.
- BROWN, S., RUFUS, L. CHANEY, JUDITH G. HALLFRISCH AND QI XUE. 2003. Effect of Biosolids Processing on Lead Bioavailability in an Urban Soil. *Journal of Environmental Quality*. 32: 100.108.

- C.A. Edwards y P.J. Bohlen. 1996. Biology and Ecology of Earthworms. 3ª edición. Editorial Chapman & Hall. Pp 120-122.
- CAMARGO, G. 2001. El Proceso Histórico y las Perspectivas de Ordenamiento de Los Cerros Orientales de Bogotá, D.C. Revista Ambiente y Desarrollo. Noviembre de 2001. 9: 119-136.
- *CAR, 1980. Folleto de cómo manejar mi cantera.
- CORREA, A y GOMEZ, A, 2000. Restauración de Ecosistemas Alterados por la Explotación Minera: Caso Cantera de Suba. Restauración de ecosistemas Alterados por la Explotación Minera. II CER 2000. Bogotá.
- CORREA, A. 2000. Situación Actual de la Explotación de Canteras en el Distrito Capital. Revista Ingeniería e Investigación. (46): 45-55.
- CORREA, A. 2003. La minería a cielo abierto en el contexto del desarrollo y su impacto sobre el medio ambiente. El caso de Bogotá, D.C. Curso Internacional de Restauración Ecológica de Canteras y el uso de biosólidos. Pontificia Universidad Javeriana. 28 de Julio – 2 de Agosto de 2003. Bogotá D.C.
- DAGUER, G. 2003. Gestión de biosólidos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Salitre. Curso Internacional de Restauración Ecológica de Canteras y el uso de biosólidos. Pontificia Universidad Javeriana. 28 de Julio – 2 de Agosto de 2003. Bogotá D.C.
- FRAGOSO, C., P. REYES y P. ROJAS. 2001. La importancia de la biota edáfica en México. Acta Zoológica Mexicana. Número especial 1: 1-10.
- FRAGOSO, C., P. ROJAS AND G. BROWN. 1999. The Role of Soil Macrofauna in the Paradigm of Tropical Soil Fertility: Some Research Imperatives. In : Siqueira, J., F. Moreira, A. Lopes, L. Guilherme, V. Faquin, J. Carvalio. Soil Fertility, Soil Biology and Plant Nutrition Interrelationships. Universidad Federal de Lavras. Pp 421-426.
- GRANADOS, M. 2005. Efecto de la Aplicación de Biosólidos en Diferentes Proporciones como enmienda Orgánica Sobre el Repoblamiento de la

Macrofauna Edáfica en la Cantera Soratama, Bogotá D.C. Tesis de grado. Pontifica Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Biología. Pg

- HERNÁNDEZ, E. 1995. IX Congreso Nacional de Minería “ Desafíos de la Minería Colombiana para el Siglo XXI” Programas de Restauración y usos futuros de Terrenos Afectados por Actividades Mineras. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. Pg 23.
- OCHOA, A. 2005. Efecto de la aplicación de biosólidos a diferentes proporciones como enmienda orgánica en el desarrollo de la vegetación en la Cantera Soratama. Localidad de Usaquén. Bogotá D.C. Tesis de pregrado. Pontifica Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Ecología.
- SALAMANCA, B. y CAMARGO, G. 2002. Protocolo Distrital de Restauración Ecológica. D.A.M.A. Bogotá. Pg 164-170.
- SMITH, R & SMITH, T. 2000. Ecología. Editorial Addison Wesley. Cuarta edición . Madrid. Pg 324-334.
- SOUSA, W. 1984. The Role of Disturbance in Natural Communities. Annual Revista Ecological Systematics. 15: 353-391.
- STILES, F. 1993. Una guía de campo a la estadística para cursos prácticos de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia.
- STILING, P. 1999. Ecology. Theories and applications. Third edition. Prentice Hall. New Jersey. Pg 274-287.
- VADILLO, L. 1991. Problemas Específicos de Industrias Sometidas a E.I.A: Minería a Cielo Abierto. Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales. Madrid España. Pg 197-212.

