

Evaluación del estado actual de la macrofauna edáfica en el área experimental de la cantera
Soratama, Bogotá, D.C.

Santiago Miguel Castro Moreno

Trabajo como requisito para optar título de Biólogo

José Ignacio Barrera Cataño
Director

Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de ciencias
Santa Fe de Bogotá, D.C.
27 de noviembre, 2009

Artículo 23 de la Resolución No13 de julio de 1946: "La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus tesis de grado".

Nota de aceptación

José Ignacio Barrera Cataño
Director trabajo de grado

María Victoria Vargas
Coordinadora de la asignatura

Adriana Álvarez
Par académico

Bogotá D.C., 5 de diciembre del 2009

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Javeriana por permitirme llevar a cabo éste trabajo de grado en sus instalaciones, al Convenio SDA entre la Secretaría Distrital de Ambiente y la Universidad Javeriana por darme los permisos de muestreo, a mi director, coordinadora y par académico José Ignacio Barrera Cataño, María Victoria Vargas y Adriana Álvarez por apoyarme en éste proceso de aprendizaje y a todos los profesores que me dieron durante éstos cinco años las bases para afrontar éste proyecto final. Finalmente, agradezco a mis padres y hermanos, los cuales fueron un gran apoyo tanto emocional como económico durante ésta etapa de mi vida.

27 de noviembre, 2009

TABLA DE CONTENIDOS

| | Página |
|--|--------|
| Resumen | |
| Abstract | |
| 1. Introducción | 10 |
| 2. Revisión de literatura | 15 |
| 2.1 Minería | 15 |
| 2.2 Minería en Colombia | 16 |
| 2.3 Minería en el distrito capital | 17 |
| 2.4 Los disturbios y las minas abandonadas | 17 |
| 2.5 Impacto de la minería sobre la macrofauna edáfica | 18 |
| 2.6 Macrofauna edáfica | 19 |
| 2.7 La macrofauna edáfica como bioindicador | 20 |
| 2.8 Métodos de muestreo para la macrofauna edáfica | 21 |
| 2.9 Restauración de la macrofauna edáfica en minas a cielo abierto | 21 |
| 2.9.1 Enmiendas edáficas | 23 |
| 2.9.2 Biosólidos | 24 |
| 3. Materiales y métodos | 25 |
| 3.1 Diseño experimental | 25 |
| 3.2 Métodos | 26 |
| 3.2.1 Trampas pitfall | 27 |
| 3.2.1.1 Muestras de suelo | 28 |
| 3.2.1.2 Métodos de laboratorio | 29 |
| 4.3 Análisis de la información | 30 |
| 4.3.1 Composición de la macrofauna edáfica | 30 |
| 4.3.2 Riqueza | 30 |
| 4.3.3 Índice de diversidad de Shannon | 30 |
| 4.3.4 Índice de equidad de Shannon | 31 |
| 4.3.5 Índice de Simpson | 32 |
| 4.3.6 Índice de Usher | 32 |
| 4.3.7 Índice de disimilaridad de Bray – Curtis | 33 |
| 5. Resultados | 33 |

| | |
|--|----|
| 5.1 Composición de la macrofauna edáfica colectada en cada uno de los tratamientos del área experimental por los métodos pitfall y apiques | 33 |
| 5.1.2 Distribución vertical global | 34 |
| 5.2 Composición de la macrofauna edáfica colectada en cada uno de los tratamientos del área experimental por los métodos pitfall y apiques | 34 |
| 5.2.1 Adultos | 34 |
| 5.2.1.1 Diversidad en cada tratamiento | 37 |
| 5.2.1.2 Dominancia en cada tratamiento | 38 |
| 5.2.1.3 Equidad en cada tratamiento | 38 |
| 5.2.1.4 Similaridad | 39 |
| 5.2.2 Composición de los estados inmaduros de la macrofauna edáfica colectada | 40 |
| 5.2.2.1 Riqueza y abundancia | 43 |
| 5.2.2.2 Diversidad | 43 |
| 5.2.2.3 Dominancia | 43 |
| 5.2.2.4 Equidad | 43 |
| 5.2.2.5 Distribución vertical | 44 |
| 5.2.2.6 Similaridad | 45 |
| 5.3 Macrofauna edáfica colectada en el área experimental por el método pitfall | 46 |
| 5.3.1 Adultos | 46 |
| 5.3.1.1 Riqueza y abundancia | 49 |
| 5.3.1.2 Diversidad | 49 |
| 5.3.1.3 Dominancia | 49 |
| 5.3.1.4 Equidad | 49 |
| 5.3.1.5 Similaridad | 50 |
| 5.4 Macrofauna edáfica colectada en las muestras de suelo (apiques) | 51 |
| 5.4.1 Adultos | 51 |
| 5.4.1.1 Riqueza y abundancia | 55 |
| 5.4.1.2 Diversidad | 57 |
| 5.4.1.3 Dominancia | 57 |
| 5.4.1.4 Equidad | 58 |
| 5.4.1.5 Similaridad | 58 |
| 5.4.1.6 Distribución vertical | 59 |
| 6. Discusión | 61 |

| | |
|---------------------------|----|
| 6.1 Método pitfall | 67 |
| 6.2 Método apiques | 68 |
| 6.3 Distribución vertical | 70 |
| 7. Conclusiones | 71 |
| 8. Recomendaciones | 71 |
| 9. Referencias | 73 |
| 10. Anexos | 84 |

Resumen

Se realizó una evaluación del estado actual de la macrofauna edáfica en el área experimental de la Cantera Soratama. Los muestreos se realizaron en el diseño experimental montado en la Cantera Soratama hace seis años, el cual consta de cuatro tratamientos que difieren según la proporción de biosólidos: un tratamiento control sin biosólidos, el tratamiento uno con una proporción de biosólidos por ocho de estériles (1:8), el tratamiento dos con una de biosólidos por cuatro de estériles (1:4) y el tratamiento tres con una de biosólidos por dos de estériles (1:2). El diseño es completamente aleatorizado con tres repeticiones por tratamiento. El método de colecta de la macrofauna edáfica fue por medio de pitfall y apiques, éstos últimos de 30x30x30cm divididos en profundidades de 0 – 15cm y 15 – 30cm y colocados aleatoriamente en cada parcela. Las trampas pitfall se ubicaron en forma de cruz, separadas una de la otra por 2 metros, en cada parcela. El índice de disimilaridad de Bray Curtis indicó una baja similaridad entre el control y los tratamientos uno, dos y tres. Se analizó en la macrofauna edáfica diversidad, riqueza, distribución vertical, dominancia y equidad. Con respecto a la diversidad, se presentaron valores similares en los tratamientos, sin embargo el T1 fue levemente mayor. Dicha tendencia se presentó también para los valores de dominancia y equidad entre tratamientos, donde el T1 presentó una mayor equitatividad entre especies y sin haber dominancia de alguna especie en particular. En cuanto a la abundancia y la riqueza se observaron valores mayores en los tratamientos uno, dos y tres, con respecto al control. Las familias más abundantes fueron Lycosidae, Enchytraeidae y Lumbricidae, mientras que para los estados inmaduros fueron Scarabeidae y Staphylinidae. La distribución vertical indicó que los individuos adultos se ubicaron principalmente en la profundidad de 15-30, mientras que los inmaduros en la profundidad de 0-15cm. Las dosis bajas de biosólidos son las mejores en términos de diversidad de macrofauna epigea, mientras que las mayores dosis de materia orgánica son las mejores para la diversidad de macrofauna hipogea y contribuyen al incremento de la abundancia, en especial de las familias Lumbricidae y Enchytraeidae.

Abstract

It was carried out an evaluation of the current state of the edaphic macrofauna in the experimental area of the Soratama Quarry. The samplings were carried out in the experimental design mounted six years ago in the Soratama Quarry, which consists of four treatments that differ according to the biosolid proportion: a treatment control without biosolids, the treatment one with one biosolid proportion for eight of sterile (1:8), the treatment two with one of biosolids for four of sterile (1:4) and the treatment three with one of biosolids for two of sterile (1:2). The design is totally randomized with three replicas by treatment. The method of collection of the edaphic macrofauna consisted of pitfall and soil samples, each one of 30x30x30cm divided in depths of 0 - 15cm and 15 - 30cm and placed aleatorily in each parcel. The pitfall traps were located in cross form, separated each one for 2m, in each parcel. The index of dissimilarity of Bray Curtis indicated low similarity among control and the other treatments. It was analyzed in the edaphic macrofauna diversity, richness, vertical distribution, dominancy and justness. With regard to the diversity, similar values were presented in the treatments. This tendency was also presented for the dominancy values and justness among treatments. As for the abundance and the richness bigger values were observed in the treatments one, two three, with regard to the control. The most abundant families among the treatments were Lycosidae, Enchytraeidae and Lumbricidae. The most abundant families for the immature states were Scarabeidae and Staphylinidae. The vertical distribution indicated that the mature individuals were located mainly in the depth of 15-30, while the immature ones in the 0-15cm depth. The low dosis of biosolids (T1 y T2) are the best in terms of diversity of the epigean edaphic macrofauna, while the high dosis of organic matter (T3) are the best for the diversity of hipogean edaphic macrophauna and they contribute to the increase of the abundance, especially of the families Lumbricidae and Enchytraeidae.

1. Introducción

Los ecosistemas de la Sabana de Bogotá son considerados diversos debido a su riqueza en fauna y flora (CAR 2006). Debido a su belleza y a todo lo que pueden aportar, los ecosistemas de los Cerros Orientales de Bogotá han estado sujetos a transformaciones, reflejadas en efectos negativos para los ecosistemas de la zona. Con el tiempo las comunidades humanas fueron creciendo, cada vez se necesitaban más recursos para subsistir y más fuentes que los aportaran. La agricultura y la búsqueda de materiales de construcción para viviendas permitieron al hombre subsistir pero a su vez generaron disturbios en el suelo, la vegetación y los ecosistemas de Bogotá (Salamanca & Camargo 2002). La agricultura proporcionó al hombre alimentos necesarios para su supervivencia y la minería le dio los materiales para construir viviendas, vías, acueducto, etc. En el caso particular de la minería, en especial de la minería a cielo abierto, se producen distintos efectos negativos sobre los compartimientos del ecosistema, por ejemplo la pérdida de suelo, vegetación y la fauna. Sumado a esto, se produce inestabilidad en los taludes y erosión, que afectan a comunidades humanas cercanas a los sitios de explotación. Estos disturbios hacen que la recuperación de los ecosistemas afectados sea mucho más compleja y lenta, lo que limita el restablecimiento de la fauna y la flora (Barrera *et al.* 2009).

En Colombia, la minería a cielo abierto se convertido en una actividad primordial para el desarrollo social y económico del país, la cual ha generado empleo a muchas personas e infraestructura, pero a su vez ha traído perjuicios en las zonas donde se ha desarrollado (Barrera *et al.* 2009). La minería a cielo abierto se destaca por su aporte de materiales de construcción y minerales para combustibles y manufactura.

Existe una gran heterogeneidad en cuanto a la forma de explotación y tamaño de las minas a cielo abierto, mientras hay unas con su respectivo plan de recuperación ambiental, existen otras clandestinas que ejercen su explotación sin ningún tipo de control, las cuales generan daños más difíciles de tratar. En las minas con su respectivo plan de manejo ambiental, la restauración se suele llevar a cabo con la reconfiguración de taludes para dar estabilidad, la construcción de canales conectores de agua para minimizar la erosión, la aplicación de enmiendas para acelerar el recubrimiento vegetal y plantaciones de especies nativas (Barrera *et al.* 2009). Sumado a esto, en Colombia existen minas a cielo abierto que explotan materiales diferentes,

son de diferentes tamaños, lo cual hace aun más difícil elaborar protocolos de restauración para dichas zonas (Barrera *et al.* 2009).

La minería a cielo abierto se caracteriza por funcionar de manera transitoria en lugares que representan un interés de tipo comercial para las comunidades humanas (Barrera *et al.* 2009). Según Barrera *et al.* (2009), “la minería a cielo abierto es un factor tensionante generador de disturbios”, que afecta el suelo, la vegetación, la fauna, las condiciones microclimáticas de un ecosistema y a la sociedad, especialmente a comunidades adyacentes a las zonas de explotación. Si la explotación minera se realizara técnicamente, almacenando el suelo, se facilitaría su restauración, pero si no se almacena dicho suelo la restauración del ecosistema sería muy compleja (Barrera *et al.* 2009).

La minería en la ciudad de Bogotá está generando graves problemas medioambientales, entidades como la CAR mencionan que los Cerros de Bogotá se están convirtiendo en una gran Cantera, el 80 por ciento de la minería en Bogotá presenta un bajo nivel tecnológico, una planeación deficiente y una inversión limitada. Sólo el 10 por ciento se considera como tecnificada (CAR 2006). En términos generales, la minería en los Cerros Orientales genera gran impacto ambiental y social, donde un gran porcentaje corresponde a negocios familiares sin planes de explotación. Éstos sitios de explotación hacen parte de los 1000 frentes de explotación de materiales de construcción en Cundinamarca (CAR 2006).

Para darnos cuenta de la realidad y de los problemas en la jurisdicción, la Sabana de Bogotá es considerada una zona de interés ecológico, según la Ley 99 del 93', pero a su vez se considera una zona compatible para la minería, según la resolución 1197 del 2004, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (CAR 2006). Obras de infraestructura vial, alcantarillado y acueducto demandan a la capital anualmente seis millones de metros cúbicos de materiales de construcción. Esto da empleo a cerca de 7000 personas (CAR 2006). Según la CAR, a pesar de que muchos de los titulares de las explotaciones cuentan con título minero, no presentan autorización para explotación, lo que se refleja en deficiencias en los Planes de Trabajo de Obras (PTO) y los Planes de Trabajo e Inversiones (PTI), con efectos negativos sobre el manejo ambiental y la estabilidad de las zonas intervenidas (CAR 2006). Al no cumplir con los requisitos mineros, menos se van a cumplir los requisitos ambientales, que abarcan los Planes de Manejo y Restauración Ambiental, que se deben hacer durante el desarrollo de la explotación, razón por la que la CAR ha cerrado más de 200 frentes (CAR 2006). A esto se suma que muchas explotaciones dejan la labor de restauración para lo último de los proyectos,

instancias en las que se hace mucho más costosa la recuperación (CAR 2006). La minería no se tiene en cuenta en los planes de ordenamiento territorial y por ende no hay un equilibrio entre el desarrollo económico y la planificación ambiental (CAR 2006).

Debido a la problemática y que es prácticamente imposible erradicar la minería porque es muy importante para las comunidades humanas, lo que se debe hacer es pensar en cómo mitigar sus efectos negativos sobre la naturaleza y de esa manera no acabar con la biodiversidad. De acuerdo con lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial del 2000 (artículo 343), se deben establecer procesos de restauración ecológica, morfológica y paisajística en las zonas de explotación a cielo abierto con el objeto de poder acelerar la sucesión ecológica y así restablecer las interacciones entre las diferentes especies. Esto es de gran importancia porque permite mejorar las condiciones del suelo, restablece las redes tróficas del suelo y facilita la colonización de la fauna edáfica (Tylianakis *et al.* 2008). Esto se puede lograr por medio del uso de enmiendas (Barrera *et al.* 2009).

El uso de enmiendas orgánicas es muy importante porque actúa sobre el suelo, el cual es fundamental para iniciar los procesos de restauración en áreas degradadas por minería y porque es el sustento de la vegetación, imprescindible para la fauna (Barrera *et al.* 2009). La aplicación de enmiendas permite superar las condiciones limitantes para el establecimiento de la vegetación como: escasez de materia orgánica, acidez, inestabilidad y erosión (Barrera *et al.* 2009). Existen varios tipos de enmiendas que se usan para el mejoramiento del suelo, las cuales abarcan desde cubrimientos, roturado, hasta la adición de cultivos de hongos, bacterias, lombrices, los cuales aumentan la actividad biológica (Barrera *et al.* 2009). Estas enmiendas se pueden dividir en orgánicas e inorgánicas; las orgánicas, donde las más importantes que se usan son el compost y los biosólidos; mientras que las inorgánicas usan fertilizantes inorgánicos ricos en N, P y enmiendas que corrigen la acidez o alcalinidad del suelo (Barrera *et al.* 2009). En éste estudio se evaluó el estado actual de la macrofauna del suelo, como consecuencia de la aplicación de biosólidos en los diferentes tratamientos.

Los biosólidos provienen de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica y partículas minerales finas, imprescindibles para la mejora de los suelos afectados por extracción de materiales a cielo abierto (Barrera *et al.* 2009). Los estudios previos muestran que el uso de biosólidos como enmienda orgánica son una buena alternativa para la restauración ecológica de ecosistemas degradados (Croau *et al.* 2002,

Petersen *et al.* 2003, Minor & Norton 2004, Granados 2005) ya que facilitan la colonización de la macrofauna edáfica porque permiten un mayor aporte de nutrientes al suelo por su alto contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo (Granados 2005, Melo 2007). Sin embargo, por el contenido de metales pesados y patógenos (coliformes, fagos somáticos), todavía hay incertidumbre en el uso de los biosólidos, si son o no dañinos para la fauna del suelo, o que riesgos tendrían para las aguas superficiales y subterráneas de los sitios donde se apliquen (Campos 2006). Dicho problema se suele mitigar por medio de una estabilización que reduce su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y atracción de vectores (Barrera *et al.* 2009). Hay algunos estudios sobre los efectos de los biosólidos sobre la fauna edáfica, algunos de ellos indican que los cambios espaciales en las comunidades de colémbolos y ácaros están relacionados con los gradientes espaciales de la concentración de metales tóxicos en el suelo (Caruso *et al.* 2009). Otros estudios de laboratorio indican que muchas especies de microartrópodos exhiben grandes cambios fisiológicos con el aumento de las concentraciones de Cu, Zn y Cd (Fountain & Hopkin 2004); y otros han medido la concentración de metales pesados en los tejidos de gusanos de tierra (Barrera *et al.* 2001). De esta manera, ésta investigación sería útil para estudios que se realicen sobre el efecto de metales pesados y patógenos presentes en biosólidos sobre la fauna del suelo.

Éste trabajo de grado se encuentra dentro de un gran proyecto de restauración ecológica en la Cantera Soratama que empezó hace seis años con el Convenio 017 de 2003 celebrado entre la SDA y la Universidad Javeriana. En esa época se usaron biosólidos en diferentes proporciones (1:8, 1:4, 1:2) provenientes de la Planta de Aguas Residuales El Salitre, los cuales se aplicaron en la zona experimental de la Cantera Soratama. Después de montado el diseño experimental se han realizado muestreos para determinar el estado de restauración de la zona. Este trabajo es una evaluación del estado actual de la macrofauna edáfica en ambientes enriquecidos con enmiendas orgánicas (biosólidos) en el área experimental de la Cantera Soratama.

La importancia de las evaluaciones radica en que a medida que la vegetación se va restableciendo por el efecto de los biosólidos, va avanzando la sucesión ecológica con la aparición de nuevas especies vegetales, a la par van también apareciendo nuevas especies de macrofauna edáfica asociada, por lo cual es necesario volver hacer evaluaciones, analizar la composición de los organismos presentes en la actualidad. Dicha caracterización proporciona información sobre la aparición de nuevas especies y si permanecen las especies registradas en los proyectos realizados con anterioridad.

Después de la realización del último muestreo (Melo 2007) y para dar continuidad al proyecto, es importante seguir realizando evaluaciones para mirar la situación actual de restauración, la cual se puede determinar por medio de indicadores que reflejen el avance de la sucesión ecológica en el área experimental (Andersen *et al.* 2003). Dentro de dichos indicadores se encuentra la macrofauna edáfica, indicadora del estado de conservación y restauración de áreas degradadas (Andersen *et al.* 2003), la cual fue evaluada en éste trabajo de grado. La evaluación de la macrofauna edáfica permite valorar el uso potencial de los biosólidos como enmienda orgánica en la restauración ecológica de canteras. En este sentido, la investigación pretende ser una fuente de conocimiento sobre el comportamiento de los biosólidos como enmienda orgánica y para ello se analizan bioindicadores de restauración ecológica.

Por otro lado, para llevar a cabo una evaluación más completa se analizó en cada tratamiento del área experimental atributos de la macrofauna edáfica como: diversidad, riqueza, dominancia, distribución vertical, con el propósito de establecer el número de morfoespecies hay en la actualidad, cuáles son más abundantes y que tan equitativas son dichas abundancias. Además, la evaluación pretende mostrar cuál tratamiento muestra un mejor estado de restauración, es decir, cual es la proporción de biosólido con una mejor composición de especies (morfoespecies) adecuada en la restauración de canteras, o si los datos previos siguen siendo los mismos, es decir, si el tratamiento que mostraba mayor restauración (1:8) sigue siendo el mejor. De esta manera éste estudio podría ser una buena fuente a tener en cuenta para proyectos de restauración ecológica que se lleven a cabo en canteras, la información que se proporcione en éste estudio serviría para que algún investigador la tuviese en cuenta en sus estudios de restauración o como una alternativa para restaurar zonas afectadas por minería a cielo abierto en Bogotá o en cualquier otra parte.

En éste sentido los objetivos de éste trabajo fueron: identificar algunos atributos de la macrofauna edáfica en cuanto a diversidad, riqueza, distribución vertical, dominancia y composición; las diferencias entre tratamientos para éstos atributos; y definir el tratamiento que más favorezca la colonización de la macrofauna edáfica, como una opción a implementar en la restauración de canteras.

Este trabajo hace parte del Convenio No. 017 del 2008 entre la Secretaria Distrital de Ambiente y la Universidad Javeriana, para elaborar diseños de restauración ecológica de la Cantera Soratama y Juan Rey.

2. Revisión de literatura

El suelo es uno de los recursos más importantes de los que depende la humanidad. Con el desarrollo económico, la expansión industrial, la aceleración de la urbanización y el crecimiento poblacional, se ha incrementando la demanda de más suelo (Sever & Makineci 2009). Sumado a eso, se requiere ahora una importante tarea, la cual se encamina a proteger y restaurar suelos afectados por cultivos, ganadería y las zonas degradadas a causa de la minería a cielo abierto (Sever & Makineci 2009).

2.1 Minería

La minería es el conjunto de acciones referentes a la exploración, explotación y aprovechamiento de los materiales del suelo y del subsuelo. Se caracteriza por hacer uso de recursos no renovables (Sever & Makineci 2009). Las explotaciones mineras se clasifican en subterráneas y a cielo abierto. En la minería a cielo abierto se realizan extracciones de rocas y minerales no disgregados como gravas, gravilla, arcillas, arena y piedra, los cuales se usan para la construcción de vías, edificios, centros comerciales, vivienda, acueducto y también para elaborar materiales como cerámicas, vidrio, plástico, papel y pintura (Correa 2003).

La minería ha sido uno de los factores causantes de la destrucción de miles hectáreas de tierra. Los minerales y los materiales de construcción constituyen una necesidad de explotación minera ya que aportan materia prima para la construcción y la industria del transporte (Sever & Makineci 2009). A pesar de ello, en muchos proyectos de minería se generan alteraciones negativas a los ecosistemas, se remueven completamente los materiales del suelo, de manera no sostenible, resultando en drásticas perturbaciones. Esto causa un mayor daño a los ecosistemas, disturbando las propiedades del suelo, eliminando la vegetación, la fauna edáfica y afectando el reciclaje de nutrientes (Sever & Makineci 2009). Dada la gran complejidad que presentan los ecosistemas, la atención ahora se ha centrado en mirar indicadores prácticos que reflejen su situación actual de algún ecosistema (McKenzie *et al.* 1992, Spellerberg 1993).

Los minerales del suelo se caracterizan por tener alta densidad, bajo pH, ser bajos en nutrientes, tener poca retención de agua y poca productividad de biomasa. Los disturbios

cambian total y drásticamente dichas características, los paisajes, lo cual trae graves consecuencias medioambientales. De manera que es necesario recuperar los suelos para minimizar los riesgos de contaminación ambiental (Sever & Makineci 2009). Sumado a esto, los efectos adversos en las características físicas, biológicas y químicas del suelo (baja materia orgánica, deficiencias en N, P y falta de actividad microbiana) limitan la restauración de los suelos y en general del ecosistema.

2.2 Minería en Colombia

En Colombia la minería ha proporcionado los materiales necesarios para muchos proyectos de construcción (Cárdenas & Reina 2008). Después de haber tenido un desempeño modesto en los 90's, la minería Colombiana registró un dinamismo importante. Este hecho se manifiesta en que el sector ha tenido tasas de crecimiento superiores a las presentadas por otros segmentos productivos como manufacturas, energía, agropecuario, silvicultura y pesca (Cárdenas & Reina 2008). En el año 2006, la minería sin hidrocarburos representó el 2.8% del PIB, lo que aportó 70.8 miles de millones de pesos. La generación de empleo por parte del sector registró un incremento de 120.000 puestos de trabajo en el 2001 y 180.000 en el 2004. Por otra parte, las exportaciones mineras ascendieron a 5.000 millones de dólares para el año 2006, con una contribución del 21% a las exportaciones totales. La inversión extranjera directa del sector se calculó en 2.157 millones de dólares para el año 2005, presentando el valor más alto en los últimos doce años. A pesar de ello, al comparar éstos incrementos con el contexto internacional, los avances todavía son muy modestos (Cárdenas & Reina 2008).

La industria minera Colombiana a cielo abierto ha sido parte de proyectos urbanísticos, los cuales no se han realizado sin su respectivo plan de manejo ambiental (CAR 2006). La falta de planificación, falta de ejecución de proyectos de manejo sostenible y medición de consecuencias lleva consigo graves efectos para los ecosistemas aledaños (Vadillo 1991, Correa 2000). A mayor degradación de los ecosistemas, mayor tiempo de recuperación de la vegetación, suelo y fauna asociada de un ecosistema (Curry 1998, Brown *et al.* 2001).

2.3 Minería en el Distrito Capital

De la minería presente en Bogotá, 80% es considerada como poco tecnificada, con deficiente inversión y planeación, la cual ha generado un gran impacto ambiental y social en sus frentes de explotación (CAR 2006).

Las diferentes obras de alcantarillado, acueducto, vías y edificaciones en la Sabana de Bogotá le demandan anualmente seis millones de metros cúbicos de materiales de construcción, lo que genera alrededor de 7.000 empleos (CAR 2006). Alrededor del 71% de las explotaciones que se realizan en Cundinamarca corresponden a materiales de construcción, mientras que el 26% corresponde a carbón (CAR 2006). Según un informe de la CAR, uno de los principales problemas en la minería de Bogotá es la falta de permisos de explotación, a pesar de que muchos titulares de las explotaciones cuentan con título minero. Esto se ha visto reflejado en el bajo éxito de los Planes de restauración ambiental y por deficiencias en el PTO (Plan de trabajo de obras) y el PTI (Plan de trabajo e inversiones) (CAR 2006). Sumado a esto, muchos proyectos de restauración en Canteras se llevan a cabo al final de la explotación minera, cuando la recuperación es más compleja y difícil de plantear (CAR 2006).

2.4 Los disturbios y las minas abandonadas

En las minas que se abandonan después de las explotaciones se generan disturbios e impactos negativos al medio ambiente. En estas minas los ecosistemas originales y la topografía han sido removidas significativamente, la biodiversidad está muy reducida, al igual que las interacciones ecológicas, que se rompen de manera irreversible (Milgrom 2008). Las excavaciones degradan las capas superiores del suelo, exponiendo roca desnuda, dañan la estética del paisaje y generan desórdenes biológicos (Milgrom 2008). Las técnicas modernas de explotación cambian las geoformas del paisaje (Barrera *et al.* 2009). Sumado a esto, muchas canteras abandonadas se convierten en botaderos de basuras sin ningún tipo de control. A partir del punto de vista económico, estos sitios abandonados limitan su uso posterior para la agricultura, siendo así inútiles y focos de mucha contaminación (Milgrom 2008).

Con el tiempo, en las canteras abandonadas gran variedad de ecosistemas se desarrollan como resultado de las relaciones recíprocas entre los organismos y sus reacciones a las

condiciones geológicas, climáticas, topográficas e hidrológicas (Milgrom 2008). Después del disturbio, con el pasar de los años se va desarrollando un mosaico de especies, especies pioneras diferentes, especies exóticas que dan un rumbo diferente a la sucesión y que no permiten que las condiciones originales se restablezcan (Kirmer *et al.* 2008). La ruptura de estas condiciones debido a la explotación minera causa daños severos a dichos hábitats. El restablecimiento de nuevos hábitats en dichas zonas se convierte en una tarea muy compleja, debido a que la minería a cielo abierto aísla las poblaciones, se rompen los flujos de genes, hay pérdida de biodiversidad y se incrementa la endogamia en las especies restantes (Milgrom 2008). No sólo la Cantera se ve afectada, también las áreas cercanas a la misma. La remoción de la fauna, la flora y la falta de planes de restauración llevan consigo problemas erosivos, afectan ecosistemas cercanos y generan contaminación en las aguas y en los suelos (Milgrom 2008).

La evaluación de los disturbios suele usar indicadores biológicos y fisicoquímicos. En los humedales, por ejemplo, el suelo, la vegetación ribereña, vegetación acuática y la calidad del agua son evaluados para determinar la salud del ecosistema (Waele 2009). Esto hace la labor evaluativa mucho más compleja por la gran cantidad de indicadores y en saber cuál podría ser el más idóneo. Los últimos métodos para evaluar disturbios se focalizan en índices, como el índice para los disturbios en zonas cársticas (KDI) (Waele 2009). Dicho método usa cinco categorías: geomorfología, atmósfera, hidrología, biota y factores culturales. Ésta metodología da un puntaje a cada indicador, que va desde cero hasta tres; cero cuando no hay disturbio y tres cuando hay total destrucción o un impacto catastrófico (Waele 2009). El KDI finalmente se determina dividiendo el total de puntuaciones de cada uno de los indicadores entre el máximo puntaje posible (entre cero y uno) (Waele 2009).

2.5 Impacto de la minería en la macrofauna edáfica

La macrofauna edáfica hace parte de la fauna que se ve afectada por las prácticas mineras ya que estas cambian las condiciones del hábitat, influyendo en las interacciones y los procesos poblacionales, en las comunidades y ecosistemas (Andrés & Mateos 2006).

En el caso de muchas de las Canteras de Bogotá, que no almacenan los suelos después de su extracción, se dificulta el posterior proceso de colonización y restauración de la fauna que allí se

encontraba (Barrera *et al.* 2009). Como consecuencia, la sucesión primaria del área disturbada será mucho más lenta, con la ausencia de bancos de semillas, las tasas de inmigración limitadas, todo esto por la falta de materia orgánica, nutrientes, pHs extremos, fluctuaciones en la humedad y temperatura (Barrera *et al.* 2009, Brown 2001)

Hay muchas especies que no se adaptan a dichas condiciones tan adversas, mientras que otras pocas responden de manera diferente, dependiendo de su habilidad para aprovechar y explotar los escasos recursos del medio. Las especies que sobreviven son las que constituyen las primeras especies colonizadoras en la sucesión primaria, especies menos exigentes con los recursos del medio (Brown 2001). A medida que avanza la sucesión, la composición de las especies va cambiando. Estos cambios se dan junto con los cambios en la composición de la vegetación presente en la zona. Las especies de macrofauna edáfica que se adapten mejor van prosperando, establecen conexiones con las especies vegetales en su entorno, las cuales les proporcionan los medios necesarios para subsistir (Tylianakis 2008).

2.6 Macrofauna edáfica

La macrofauna del suelo abarca desde los grandes invertebrados que habitan en la tierra (diámetro del cuerpo > 2mm) que se pueden ver a simple vista, incluyendo grupos como las hormigas, coleópteros, arañas, ciempiés, termitas, diplopodos, etc., los cuales corresponden a la mayor diversidad de los bosques (Parisi *et al.* 2005). Los tiempos de generación tan cortos y su densidad de población, hace a muchos invertebrados del suelo susceptibles a los cambios medioambientales (Snyder & Hendrix 2008). Invertebrados como las hormigas, los gusanos de tierra han sido ampliamente usados para monitorear la restauración ecológica en minas (Andersen *et al.* 2003, Bowie & Frampton 2004).

La macrofauna edáfica cumple unos roles muy importantes como: dispersión de semillas, polinización (Snyder & Hendrix 2008), fragmentación e incorporación de materia orgánica al suelo, muy importante para la acción descomponedora de muchos microorganismos (Aquino *et al.* 2008). Las actividades de estos organismos comprenden la creación de estructuras biogénicas como galerías, redes, cuevas, bolas fecales, que permiten la agregación, el flujo de agua subterráneo y el aumento de materia orgánica en el suelo, lo que a su vez contribuye al aumento de la diversidad, composición y abundancia de la edafofauna. Además la fauna edáfica contribuye al flujo vertical de nutrientes en el subsuelo, favoreciendo a los sistemas de

raíces, hongos micorrísicos y simbiosis entre raíces y microorganismos fijadores de nitrógeno (Aquino *et al.* 2008). Además se ha observado que la fauna del suelo contribuye a la erradicación de microorganismos patógenos (Brown 2005). De esta manera la edafofauna contribuye al sostenimiento de la producción primaria en los ecosistemas naturales y en los agroecosistemas derivados de éstos (Aquino *et al.* 2008).

2.7 La macrofauna edáfica como bioindicador

Los bioindicadores son herramientas que indican el estado de conservación de algún hábitat en particular (Zeppelini 2009). Los bioindicadores nos pueden reflejar la salud o calidad del ecosistema donde habitan, se caracterizan por satisfacer los siguientes criterios: son sensibles a los cambios del hábitat donde se encuentran; se correlacionan con funciones benéficas de su ecosistema; son útiles en revelarnos procesos cruciales de los ecosistemas; suelen ser fáciles de medir (Parisi *et al.* 2005).

Los bioindicadores son muy importantes para evaluar la restauración de las condiciones ambientales originales en las áreas disturbadas (Zeppelini 2009). Muchos artículos resaltan la hipótesis de que la diversidad y densidad de la macrofauna edáfica, junto con la presencia de determinados organismos, pueden usarse como bioindicadores de la calidad del suelo (Paoletti 1999, Barros *et al.* 2003, Aquino *et al.* 2008).

La macrofauna edáfica es usada como bioindicador para determinar el éxito en la restauración ecológica, debido a que ésta es indicadora de la calidad del hábitat, es muy sensible a los disturbios causados por el hombre y es indispensable en un muchos procesos ecológicos para la formación del suelo (Parisi *et al.* 2005, Snyder & Hendrix 2008, Willett 2001, Zeppelini *et al.* 2009).

En países como Italia, microartrópodos han sido evaluados como bioindicadores para determinar la calidad biológica del suelo, esto por medio de índices como el QBS (Parisi *et al.* 2005). Éste índice se basa en el análisis de grupos de microartrópodos en muestras de suelo, donde cada tipo presente en la muestra de suelo recibe un puntaje de 1 a 20 (según el índice ecomorfológico, EMI), de acuerdo a su adaptación al medio ambiente. Luego se suman los puntajes para obtener una caracterización de la comunidad de microartrópodos presentes en la muestra (Parisi *et al.* 2005).

Dentro de las diferentes prácticas que afectan la biota del suelo se encuentran la agricultura, la minería, deforestación, polución y los cambios medioambientales globales. Estos a su vez traen consigo problemas como la erosión, cambios drásticos en la temperatura del suelo, en su humedad, pH muy ácido y bajo contenido de materia orgánica, que producen la pérdida de la productividad primaria, el reciclaje de nutrientes, descomposición de materia orgánica, todos ellos con efectos múltiples en cadena que afectan a todas las especies de un ecosistema (Swift & Bignell 2001).

2.8 Métodos de muestreo para la macrofauna edáfica

Dentro de las distintos métodos de muestreo de la fauna del suelo que se han empleado para monitorear la restauración ecológica de áreas degradadas se encuentra el uso de trampas pitfall, muestreo por apiques, trampas malaise (Santos *et al.* 2007, Willett 2001), barrido con redes, muestreo visual, muestreo de troncos (Simmonds *et al.* 1994), discos de madera (Bowie & Frampton, 2004), el uso de monolitos (Baretta *et al.* 2007), entre otros. Por lo general se realizan estudios que comparan sitios en rehabilitación con sitios sin intervención (Granados 2005, Melo 2007), se comparan sitios con diferentes edades de rehabilitación (Simmonds *et al.* 1994). Dentro de dichos estudios se han empleado los biosólidos para la restauración de ecosistemas (Croau *et al.* 2002, Petersen *et al.* 2003, Minor & Norton 2004), purines, el compost, el estiércol de vaca, la gallinaza, cada una con resultados importantes.

2.9 Restauración ecológica de la macrofauna edáfica en áreas degradadas por minería a cielo abierto

La restauración de las condiciones medioambientales y la diversidad de las especies de macrofauna del suelo en minas a cielo abierto son una realidad y una necesidad para muchos países del mundo (Zeppelini 2009). Sin embargo, los métodos de restauración han sido pobremente estudiados en Suramérica. Aún no se entienden muy bien las tasas de formación del suelo, la acumulación de carbono orgánico y la fauna edáfica colonizadora durante la sucesión primaria (Šourková *et al.* 2005). La restauración debería abarcar los siguientes

campos: a) mejoramiento in situ de las propiedades físicas y químicas de los sustratos; b) la recuperación de las capas superiores del suelo; c) estabilización del suelo y protección con especies herbáceas y d) plantaciones de arbustos y árboles (Zeppelini *et al.* 2009). Dentro de éstas el uso de especies herbáceas debe involucrar la siembra de especies nativas, buscando la nueva concepción de restauración, que se basa en una restauración que logre una igualdad con las condiciones originales del hábitat (Andersen *et al.* 2003). De esta manera, la restauración pretende mejorar la estética de los paisajes, reconstruir la topografía, hidrología, calidad del suelo, y desarrollar los perfiles del suelo con el tiempo para conseguir las características previas a la explotación. Esto trae consigo la obtención de nuevas fuentes de carbono renovado y el mejoramiento de la integridad ecológica (Sever & Makineci 2009).

La restauración ecológica en áreas degradadas por minería a cielo abierto es un proceso demorado y complejo que puede tomar muchos años. El tiempo de restauración estaría directamente relacionado con la manera en que se desarrollaron los procesos de explotación, si la explotación se realizó de manera inadecuada, sin almacenar los suelos extraídos, el posterior proceso de restauración será mucho más complejo (CAR 2006).

La restauración de las condiciones naturales originales se encuentra muy relacionada con los aportes que da la vegetación. Este proceso puede tardar muchos años debido a la falta de nutrientes en el suelo y falta de estabilidad en los taludes, que hacen el crecimiento de las plantas mucho más lento (Barrera *et al.* 2009). En consecuencia, las primeras etapas del proceso de restauración deben involucrar la estabilización del suelo para permitir el establecimiento de la vegetación y la fauna edáfica y la reconstrucción de los taludes para evitar procesos erosivos; mejoramiento del drenaje del suelo (Barrera *et al.* 2009).

Posteriormente, en la restauración de los suelos se suele hacer aplicaciones de enmiendas para poder recuperar el perfil del suelo, se pueden aplicar capas fértiles de suelo o adición de cultivos vivos de bacterias, hongos y lombrices, los cuales le dan actividad biológica al sustrato (Barrera *et al.* 2009).

Después del mejoramiento del suelo, en muchos proyectos de restauración se emplea la revegetalización, la cual da cobertura vegetal, aporta materia orgánica al suelo y proporciona alimento, escondites y sitios de reproducción a la fauna edáfica (Barrera *et al.* 2009). Después de esta serie de pasos, lo que sigue es un largo proceso de sucesión que con el pasar del tiempo va adquiriendo cambios en la composición y estructura de los individuos presentes en la

zona. Estos cambios en el tiempo son evaluados en proyectos de restauración para determinar si las metodologías usadas han tenido éxito (Bowie & Frampton 2004).

La evaluación y seguimientos de la restauración ecológica en minas a cielo abierto se deben realizar para verificar cambios en el tiempo. Realizar seguimientos es muy esencial ya que permite determinar si se están logrando los objetivos planteados en algún proyecto de investigación (Bowie & Frampton 2004). Considerando que los proyectos de restauración son costosos, los seguimientos ayudan a corregir errores cometidos en el pasado (Atkinson 1994).

Los seguimientos también son muy importantes para observar cambios a través del tiempo, y si dichos cambios se encaminan a la obtención de los objetivos propuestos (Bowie & Frampton 2004). Un diseño experimental correcto y el uso de programas de seguimiento es muy importante para coleccionar información valiosa para que se evalúen los cambios de manera exitosa (Atkinson 1994). La evaluación del éxito en los proyectos de restauración demanda criterios medibles para medir el grado de recuperación de un sitio dado. Muchos toman como referencia las áreas no disturbadas alrededor de un área disturbada, para poder indicar condiciones naturales con las cuales hacer comparaciones (Zeppelini *et al.* 2009). Por lo tanto, la evaluación de proyectos de conservación, manejo y restauración de macrofauna edáfica es un paso muy importante hacia la búsqueda del mantenimiento de los ecosistemas tropicales (Aquino *et al.* 2008).

2.9.1 Enmiendas edáficas

Se considera enmienda a cualquier material aplicado sobre un suelo antes o después de la revegetalización, con el objeto de mejorar las características edáficas. Las enmiendas se aplican para proveer un medio adecuado para el crecimiento de la vegetación y facilitar el establecimiento de fauna (Barrera *et al.* 2009). La aplicación de enmiendas incorpora macro y micronutrientes, aumenta la materia orgánica, contrarresta los pH ácidos, mejora la retención de agua e impide las grandes fluctuaciones de temperatura (Barrera *et al.* 2009).

Las enmiendas se pueden usar de acuerdo a dos estrategias: fertilizaciones inorgánicas (directa) y orgánicas (indirecta). En la aplicación de enmiendas inorgánicas se suele usar fertilizantes ricos en N, P y K y fertilizantes que corrigen la acidez o alcalinidad del suelo;

mientras que en las enmiendas orgánicas se hace uso de compost y biosólidos que son muy ricos en materia orgánica (Barrera *et al.* 2009).

2.9.2 Biosólidos

Los biosólidos son lodos estabilizados provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, se caracterizan por tener un alto contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, humedad y algunos patógenos y metales pesados (Barrera *et al.* 2009).

Los biosólidos se usan en zonas mineras, en agricultura, silvicultura, viveros, recuperación de suelos degradados, biorremediación de suelos, elaboración de abonos y materiales de construcción (Daguer 2003). Cualquier uso que se le dé a los biosólidos se debe hacer sabiendo las proporciones adecuadas de biosólido, con el objeto de evitar los efectos negativos del enriquecimiento del suelo (salinidad, toxicidad por metales, especies exóticas) (Paschke *et al.* 2005).

De acuerdo a las concentraciones de metales pesados y patógenos, los biosólidos se clasifican en tipo A y tipo B. Los de tipo A son usados en cultivos de consumo directo y los de tipo B en la recuperación de suelos, plantaciones, cultivos que no se consuman directamente y en rellenos sanitarios (Daguer 2003).

El uso de biosólidos reduce la erosión, facilita el crecimiento de plantas, mejora la fertilidad de los suelos y facilita el establecimiento de la fauna del suelo. Los biosólidos mejoran la estructura del suelo y su capacidad para retener agua y nutrientes, aumentan la actividad microbiana, incrementan los ciclos biogeoquímicos (Kowaljow & Mazzarino 2007). Sin embargo, los biosólidos pueden llegar a tener patógenos y metales pesados que podrían ser perjudiciales para las especies (BAS 2002).

De acuerdo a su patogenicidad, en Norteamérica y la Unión Europea existe una legislación que establece los límites en las concentraciones de metales pesados en los biosólidos. Dichas concentraciones se establecen de acuerdo al uso que se le den a los biosólidos (agricultura, restauración de suelo, rellenos sanitarios, etc.) (Daguer 2003). En Colombia, todavía no hay una legislación que establezca los límites en las concentraciones de metales pesados para los biosólidos, hasta el momento sólo existe la resolución 1096 del 2000, la cual define los biosólidos, pero no reglamenta su gestión (Daguer 2003).

3. Materiales y métodos

La evaluación se realizó en el área experimental de la Cantera Soratama, donde se implementaron los métodos para el muestreo de la macrofauna edáfica usada por Granados (2005) y Melo (2007).

Los biosólidos usados en el área experimental donde se realizaron los muestreos de éste trabajo provienen de la Planta de tratamiento de aguas residuales el Salitre. Dicha planta produce alrededor de 130 a 150 toneladas diarias de biosólidos los cuales son dispuestos en el relleno sanitario Doña Juana para generar cobertura vegetal en las celdas clausuradas (BAS 2002).

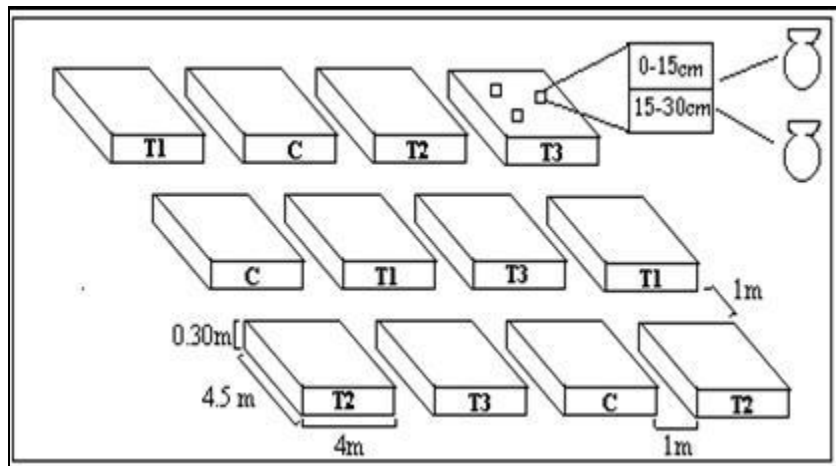
3.1 Diseño experimental

La evaluación se realizó en el área experimental (montada hace 6 años) de la Cantera Soratama, en la zona de depósito de estériles en un área de 400m² durante entre el 16 y 18 de abril del 2009 (Figura 1).

El diseño experimental consta de doce parcelas correspondientes a cuatro tratamientos con tres repeticiones, separados por 1m, cada una de 4.5 x 4m (18m²), con una altura de 0.30m (Granados 2005). Los tratamientos donde se realizó el muestreo de la macrofauna edáfica varían en las proporciones de biosólidos, presentando un control sin biosólidos, el tratamiento uno (T1) con una proporción de una de biosólidos por ocho de estériles (1:8), el tratamiento dos (T2) con una proporción de uno de biosólidos por cuatro de estériles (1:4) y el tratamiento tres (T3) con una proporción de una de biosólidos por dos de estériles (1:2), para un total de cuatro tratamientos cada uno con tres repeticiones (Figura 1, B) (Granados 2005).



Figura 1. Fotografía del área experimental



Tomado de (Granados, 2005)

Figura 2. Distribución de los tratamientos en el área experimental

3.2 Métodos

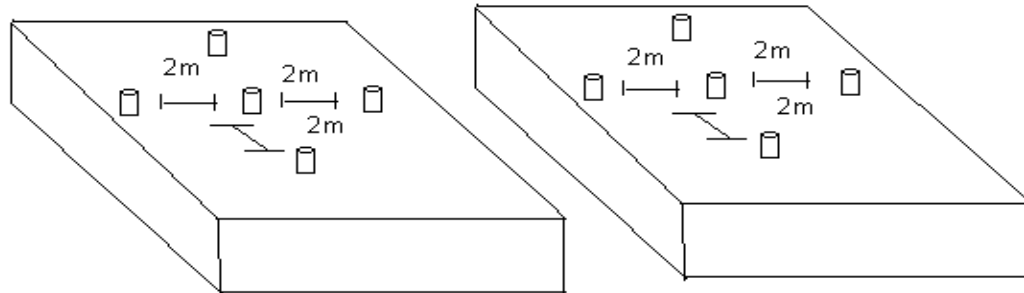
Para la captura de la macrofauna edáfica presente en la cantera se usaron trampas pitfall y se tomaron muestras de suelo en apiques.

3.2.1 Trampas pitfall

Las trampas pitfall constaron de vasos desechables con mezclas de 150ml de agua y jabón para vencer la tensión superficial, enterrados a nivel superficial en el suelo (Fletcher *et al.* 2009), como se observa en la (Figura 3, A).



Tomado de (Granados 2005) **A.**



B.

Figura 3. A: Trampa pitfall a nivel superficial en el suelo; **B:** Disposición de las trampas pitfall en cada tratamiento

Se colocaron en cada parcela experimental cinco trampas pitfall, separadas cada una por 2m, en forma de cruz (Figura 3, B).

Las trampas pitfall se recogieron 48 horas después de haber sido colocadas (Fletchmann *et al.* 2009). Luego los contenidos de cada vaso se recogieron y se pasaron a frascos plásticos marcados debidamente (Granados 2005, Álvarez & Granados 2006, Melo 2007).

3.2.1.1 Muestras de suelo

Se tomaron muestras de suelo en apiques para la colecta de la macrofauna edáfica, se procedió a hacer monolitos con dos profundidades: 0 – 15cm y 15 – 30cm, tomando un volumen de 30x30x30 con un barretón a las dos profundidades mencionadas con anterioridad (Figura 4). Dicho volumen es una variación a la presentada por Anderson & Ingram (1998). Los monolitos se distribuyeron aleatoriamente en tres puntos dentro de cada parcela, siguiendo los métodos para organismos hipógeos y larvas (Sutherland 1996).

Se recolectaron las muestras de suelo en bolsas plásticas transparentes debidamente cerradas y luego fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Javeriana (Figura 5).



Figura 4. Apique en el área experimental



Figura 5. Muestra de suelo

3.2.1.2 Métodos de laboratorio

El material colectado proveniente de las trampas pitfall fue trasladado a frascos plásticos y fue morfotipado siguiendo la misma nomenclatura usada en proyectos anteriores para facilitar la unificación de datos (Granados 2005, Álvarez & Granados 2006) y determinado taxonómicamente hasta familia usando claves especializadas (Kaston 1978, Borror *et al.* 1992, Fernández *et al.* 1996, Schoeman & Jocqué 1997, Lawrence *et al.* 1999, Foddai *et al.* 2002, Hoffman *et al.* 2002, Schileyko *et al.* 2002). Los individuos capturados se preservaron en frascos de vidrio con 5ml de alcohol al 70%, los cuales llevaron las correspondientes etiquetas con información básica de acuerdo a los requerimientos del museo de la Pontificia Universidad Javeriana.

Los individuos provenientes de las muestras de suelo fueron extraídos manualmente (Chamorro 1990), luego fueron depositados en alcohol al 70% para su proceso de preservación y determinación taxonómica usando claves interactivas para el caso de larvas de coleópteros (Lawrence *et al.* 1999).

4.2 Análisis de información

La información se analizó usando matrices de Excel consignando los respectivos datos como familia, método de captura, tratamiento, profundidad, entre otros.

Para describir el estado actual de la macrofauna en los diferentes tratamientos se usaron los índices de diversidad de Shannon, de equidad y dominancia de Simpson para individuos adultos e inmaduros (Magurran 1989, Ramírez 1999, Moreno 2001). También se usarán pruebas estadísticas como ANOVA de una vía, pruebas de homogeneidad de varianzas como la de Levene, Shapiro Wilk para probar normalidad, Tukey y Kruskall Wallis, según los casos que se presenten (Daniel 2004). La prueba de Tukey se aplicará en caso de que haya diferencias significativas en la prueba ANOVA, la cual nos dirá con más exactitud cómo fueron dichas diferencias (Daniel 2004). La prueba de Kruskall Wallis se aplicará en caso de que los datos no sean paramétricos, nos ayudaría a determinar si un grupo de datos proviene de una misma población (Daniel 2004).

4.3.1 Composición de la macrofauna edáfica

Se realizó un listado de órdenes, familias y morfoespecies de la macrofauna edáfica que se colectó en la cantera Soratama.

4.3.2 Riqueza

Expresa el número de especies de una comunidad, en éste caso morfotipos, que son taxa separados por diferencias morfológicas (Oliver & Beattie 1996). Para analizar la riqueza de los tratamientos se tomará el número de especies como morfotipos.

4.3.3 Índice de diversidad de Shannon

Éste índice de diversidad se ve afectado por el número de especies y su equidad. Supone que todas las especies son colectadas al azar y se representan en la muestra. Su valor se encuentra entre 1.5 y 3.5 (Magurran 1989, Ramírez 1999).

Éste índice presenta la fórmula logaritmo, que reduce el efecto de las especies más abundantes (Ramírez 1999). Su fórmula es la siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

- S corresponde al número de especies (la riqueza de especies)
- p_i es la proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (la abundancia relativa de la especie i): n_i/N
- n_i es el número de individuos de la especie i
- N es el número de todos los individuos de todas las especies

Así, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia) (Magurran 1989).

4.3.4 Índice de equidad de Shannon

Nos ayuda a cuantificar qué tanto se desvía la diversidad estimada del máximo teórico (cuando todas las especies son igual de abundantes) (Magurran 1989). Su valor se encuentra entre cero y uno. Cero (0) cuando hay dominancia total de una especie y uno (1) cuando todas las especies tienen el mismo número de individuos (Magurran 1989).

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

E= índice de equidad

S= número de especies de la muestra

H' = índice de diversidad

H' = máximo teórico del índice de diversidad

4.3.5 Índice de Simpson

Es un índice probabilístico, una medida de concentración que determina la probabilidad de extraer individuos de una misma especie, es decir, qué tan dominante es una especie. Éste índice es muy dependiente de las especies más abundantes (Ramírez 1999). Su fórmula es:

$$D = \sum (ni(ni-1) / (N(N-1)))$$

D= índice de dominancia

ni = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos

4.3.6 Índice de Usher

Con las morfoespecies más abundantes del muestreo se usará ésta prueba para determinar la distribución vertical promedio de dichas morfoespecies, es decir, en qué profundidad se encontraron más e identificar diferencias entre los tratamientos (Barrera *et al.* 2001). Según éste autor, las especies se distribuyen en el perfil como una nube tridimensional de densidad variable con la profundidad. A partir de esto Usher divide el perfil vertical en un número “i” de estratos, cuyos centros se encontrarían a una distancia “di” de la superficie de la capa superior. El hipotético centro de gravedad de ésta “nube” se calcularía así:

$$M = \sum di \cdot ni / N$$

M= profundidad media en cm

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

ni= densidad del taxón considerado, en cada capa

N= densidad del taxón en total del perfil

A los valores obtenidos del índice de Usher se aplicará la prueba de contraste de Duncan de rango múltiple, que es diseñada para detectar diferencias significativas (Milton 2001).

4.3.7 Índice de disimilaridad de Bray – Curtis

Tiene en cuenta la abundancia entre especies para dar un indicio de la similaridad entre los tratamientos implementados (Ramírez 1999).

$$D_{jk} = \frac{\sum (X_{ij} - X_{ik})}{\sum (X_{ij} + X_{ik})}$$

D_{jk} = disimilaridad entre j y k

X_{ij} = abundancia de la especie i en j

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

S = número de especies a comparar

5. Resultados

5.1 Composición de la macrofauna edáfica colectada en el área experimental por los métodos pitfall y apiques

En el área experimental de la Cantera Soratama se reconocieron 78 morfoespecies representadas en 29 familias. Las más abundantes fueron Lumbricidae (22.787%), Enchytraeidae (22.345%), Lycosidae (17.035%), Scarabeidae (8.185%) y Carabidae (7.079%). El resto de familias presentaron porcentajes mucho más bajos, varios por debajo de cero (Figura 6).

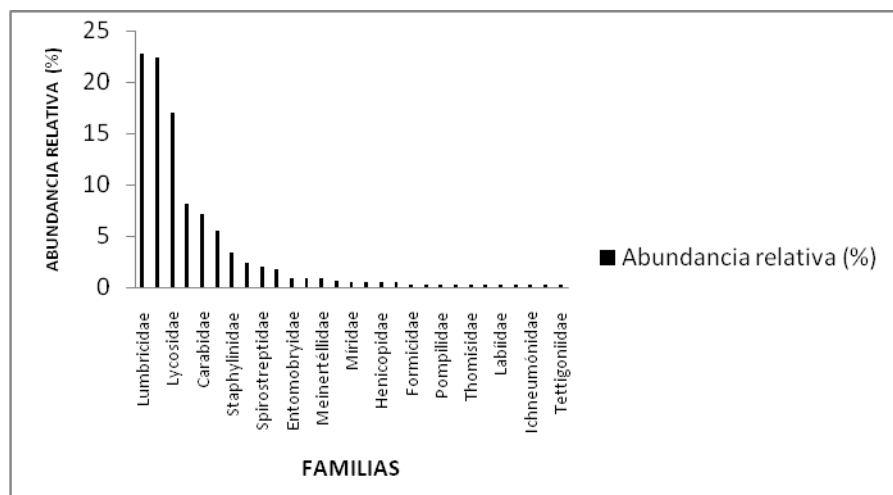


Figura 6. Abundancias relativas (%) de las familias colectadas en el área experimental de la Cantera Soratama

5.1.2 Distribución vertical global

La profundidad promedio de la distribución de las morfoespecies en el área experimental es de 17.698cm, por lo cual las morfoespecies se distribuyeron especialmente en la profundidad de 15 – 30cm.

5.2 Composición de la macrofauna edáfica colectada en cada uno de los tratamientos del área experimental por los métodos pitfall y apiques

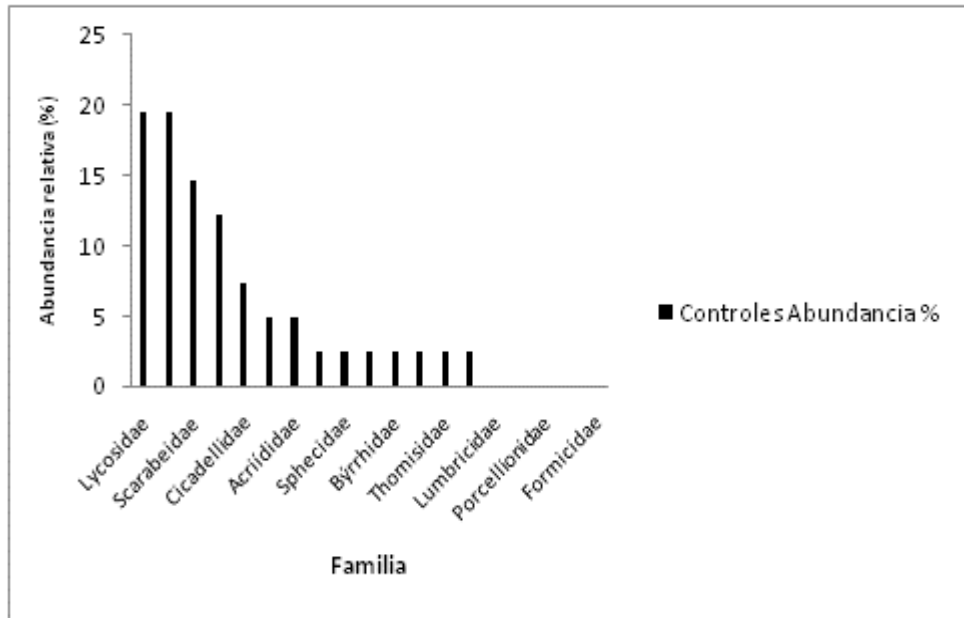
5.2.1 Adultos

Con respecto a las abundancias relativas en cada tratamiento, se encontró que en los controles los más abundantes fueron los órdenes Coleoptera (48.78%), Aranea (24.39%) y Hemíptera (12.19%), representados en las familias Lycosidae y Staphylinidae con 19%, seguidos de los Scarabeidae 15.3%, Carabidae con 12% y Cicadellidae 7.5% (Fig7, A).

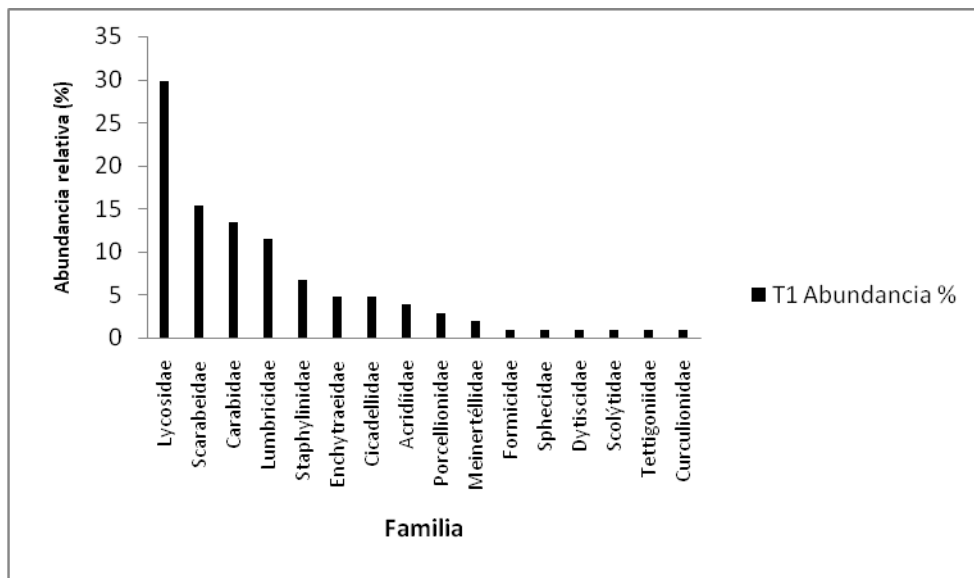
En el tratamiento uno los órdenes Coleoptera (37.5%), Aranea (29.8%) y Haplotaxida (16.34%), representados en las familias Lycosidae con 29.7%, seguidos de los Scarabeidae con 15.8%, Carabidae con 13.9% y Lumbricidae con 11.7% del total (Fig7, B).

En el tratamiento dos el orden Haplotaxida (57.6%) fue el más abundante, representado en las familias Lumbricidae con 34%, Enchytraeidae con 24.1% y luego Aranea representado en la familia Lycosidae con 15.8% del total (Fig8, A).

En el tratamiento tres el orden más abundante fue Haplotaxida (49.71%) representado en las familias Enchytraeidae y Lumbricidae con el 34.6% y 15.2% del total (Fig8, B).

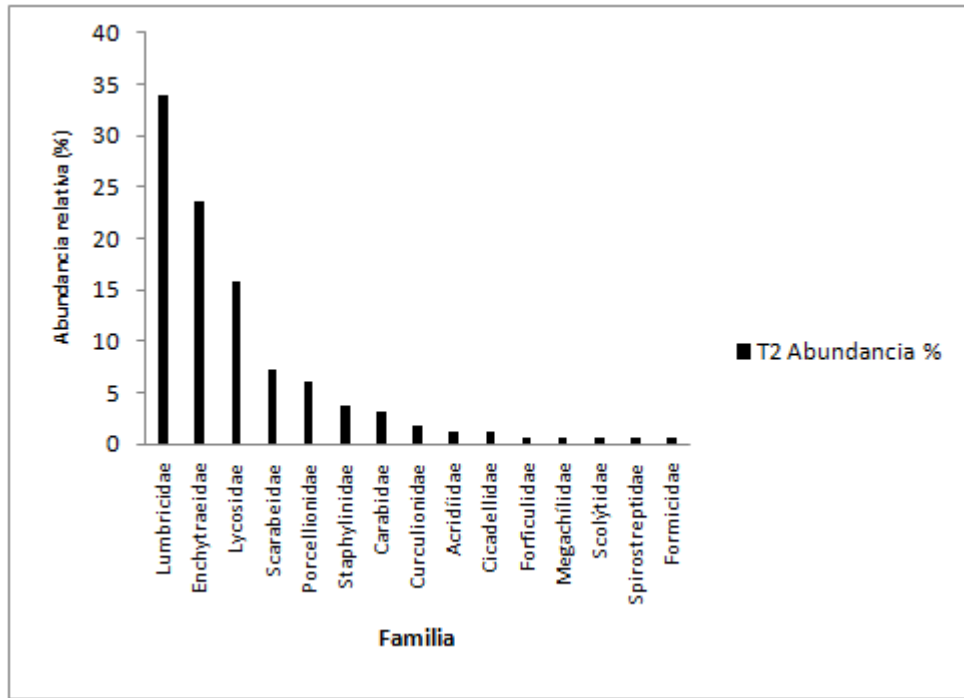


A.

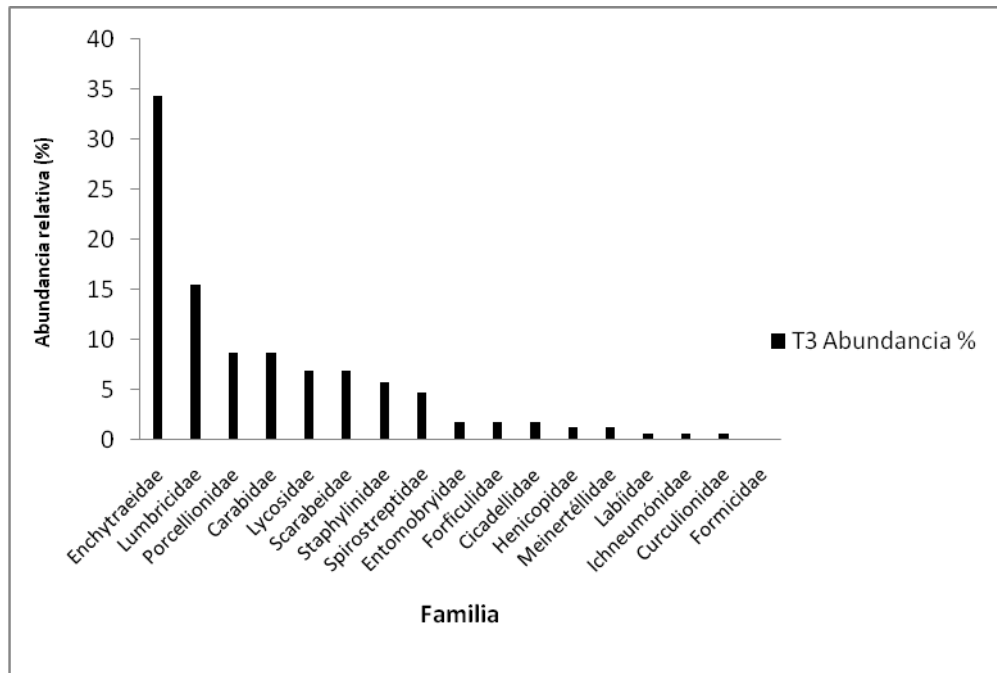


B.

Figura 7. Abundancias relativas de las familias colectadas en: **A.** El control; **B.** El tratamiento uno



A.



B.

Figura 8. Abundancias relativas de las familias colectadas en: **A.** El tratamiento dos; **B:** El tratamiento tres

5.2.1.1 Diversidad en cada tratamiento

La diversidad de cada tratamiento nos proporcionaría una excelente manera para detectar el efecto de los biosólidos en la macrofauna edáfica presente en cada tratamiento.

Los valores de diversidad entre tratamientos no estuvieron muy alejados entre sí; en el tratamiento control el valor del índice de diversidad de Shannon fue de ($H' = 2.925$), mientras que los valores de los tratamientos uno ($H' = 3.113$), dos ($H' = 3.111$) y tres (2.949) también estuvieron cercanos (Fig9). Dichos valores presentaron diferencias significativas entre sus medias ($P < 0.05$).

A partir de la prueba Tukey se determinó que habían 2 grupos, uno donde estaba el tratamiento control y el tratamiento uno, los cuales no presentaban diferencias significativas entre sí, y el otro grupo donde estaban los tratamientos dos y tres, que también no presentaban diferencias significativas entre sí. Además, la prueba Tukey mostró que el tratamiento uno pertenecía a dichos dos grupos, es decir que no presentaba diferencias significativas entre el C, T1, T2 y T3.

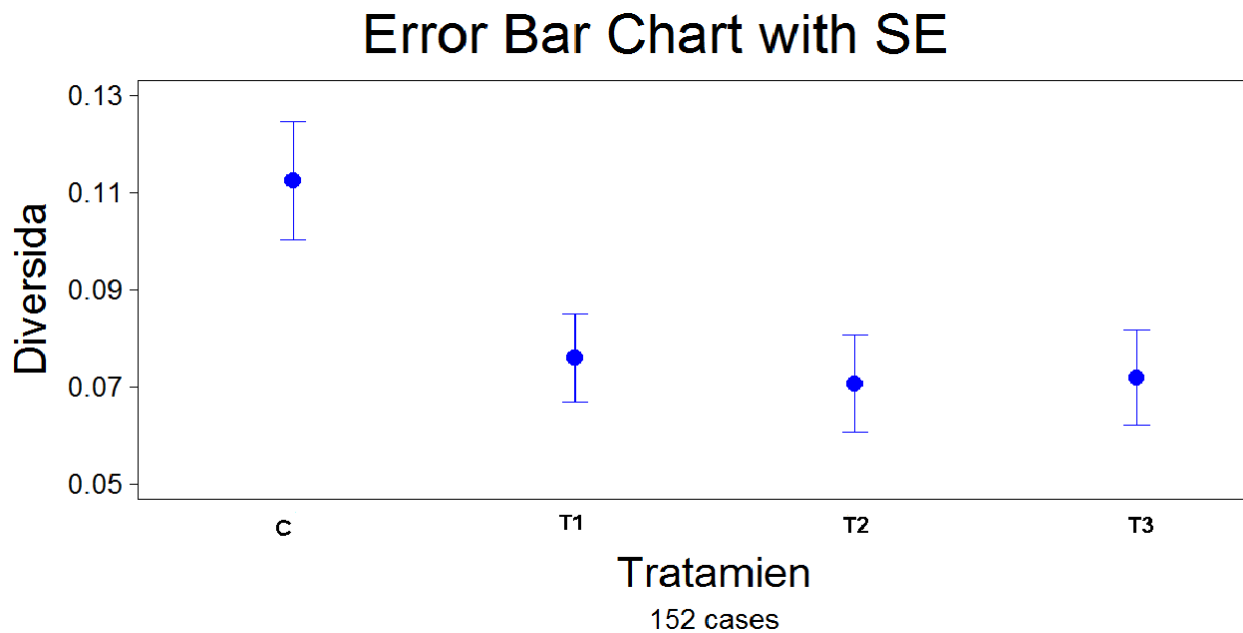


Figura 9. Valores del índice de diversidad de Shannon en los diferentes tratamientos

5.2.1.2 Dominancia en cada tratamiento

El valor del índice de dominancia de Simpson para el control fue de ($D= 0.085$), el tratamiento uno ($D= 0.084$), el tratamiento dos ($D= 0.068$), el tratamiento tres ($D= 0.190$), que indican una dominancia baja, datos explicados por la abundancia de individuos de diferentes familias en cada tratamiento (Fig 10). Dichos valores no presentaron diferencias significativas entre sus medias ($P>0.05$).

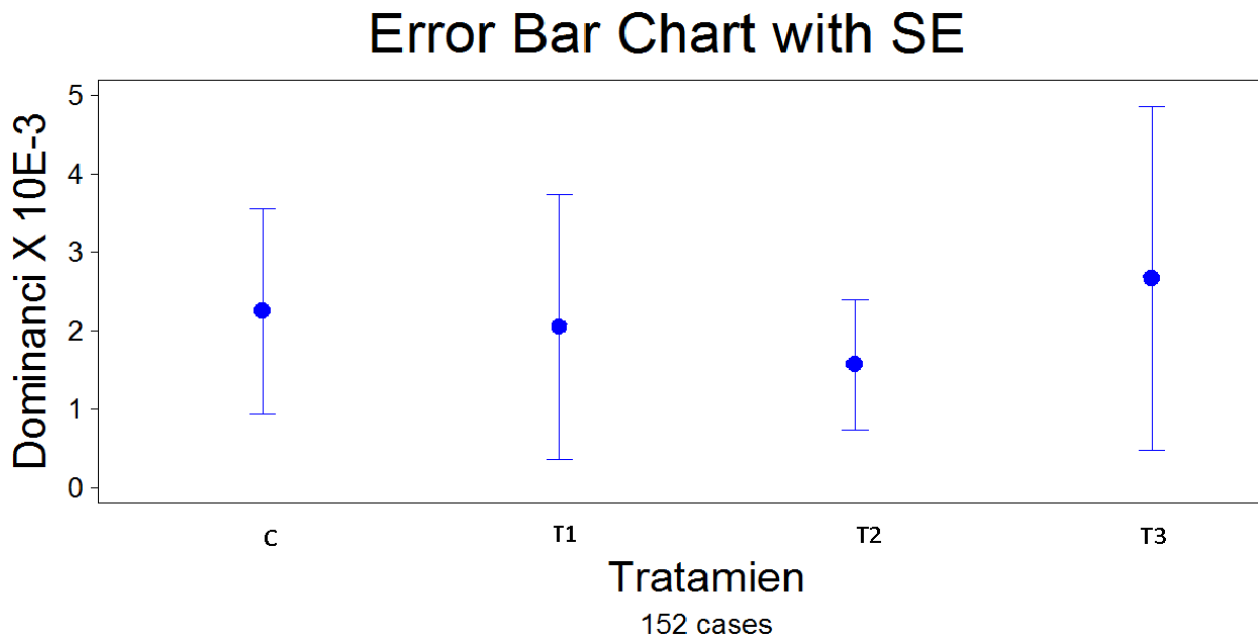


Figura 10. Valores del índice de dominancia en los diferentes tratamientos

5.2.1.3 Equidad en cada tratamiento

El índice de equidad fue muy similar entre tratamientos; el control presentó un valor ($E= 0.897$), el tratamiento uno, dos y tres, ($E= 0.838$), ($E= 0.822$) y ($E= 0.794$), respectivamente. Dichos valores indican poca dominancia de alguna especie en particular (Fig11). Las medias los índices de equidad en cada tratamiento mostraron diferencias significativas ($P< 0.05$).

Según Tukey, se reconocen 2 grupos, uno donde se encuentra el tratamiento control, y el otro con los tratamientos uno, dos y tres. Dentro de dichos grupos las medias no tenían diferencias significativas.

Error Bar Chart with SE

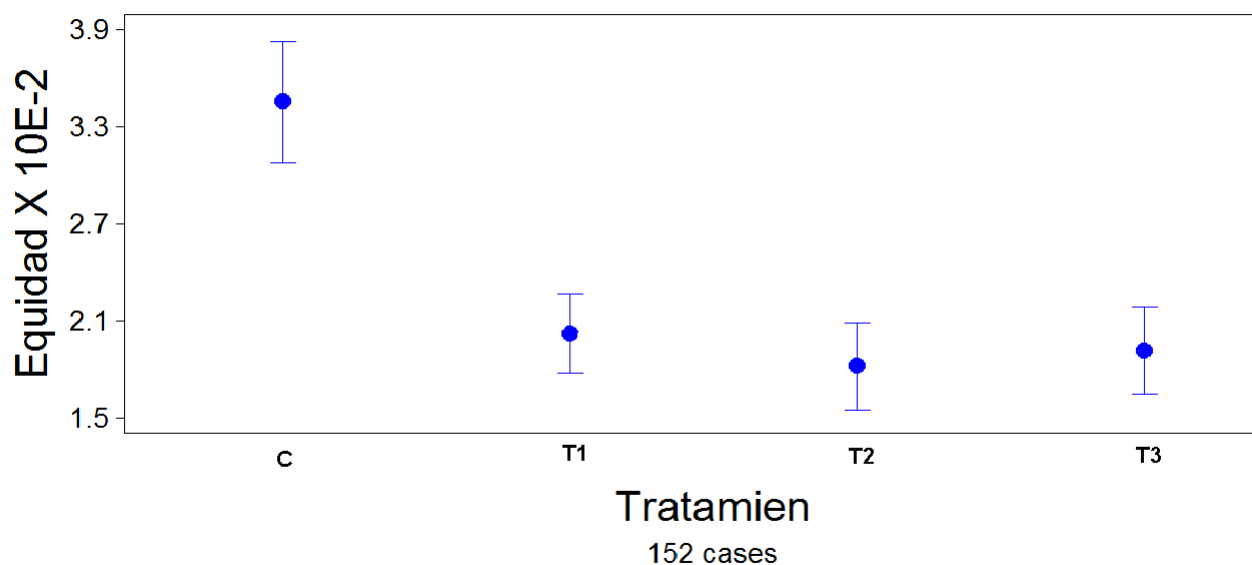


Figura 11. Error estándar de los valores del índice de equidad en cada tratamiento

Tabla 1. Índices de diversidad, dominancia, equidad, riqueza y abundancia de cada uno de los tratamientos del área experimental

| Tratamiento | C | T1 | T2 | T3 |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Dominancia | 0,058510639 | 0,084033613 | 0,068899522 | 0,190334551 |
| Diversidad | 2,925202652 | 3,113987182 | 3,111364373 | 2,949895613 |
| Equidad | 0,897825668 | 0,838542283 | 0,822200973 | 0,794355286 |
| RIQUEZA ESPECÍFICA | 26 | 42 | 44 | 41 |
| Abundancia (total de individuos) | 48 | 120 | 211 | 199 |

5.2.1.4 Similaridad

La similaridad entre los tratamientos en términos de abundancia de los morfotipos se presenta en el dendrograma de similaridad de Bray Curtis (Fig12). Analizando más detenidamente la figura, hay una similaridad del 29.62% entre todos los tratamientos; una similaridad del 46.234% entre los tratamientos uno, dos y tres; y una similaridad del 58.417% entre los tratamientos dos y tres (Tabla 2).

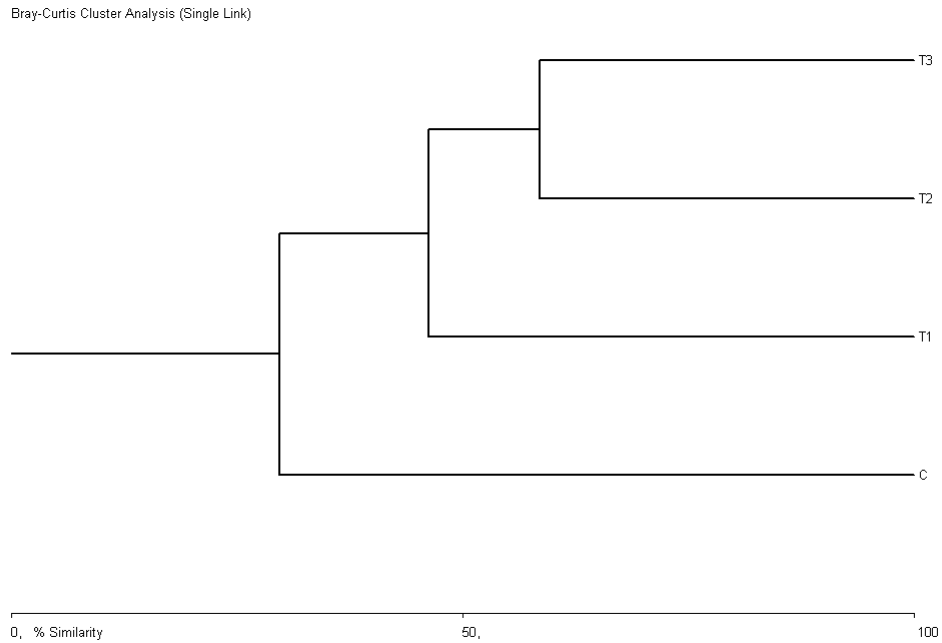


Figura 12. Dendrograma de Bray Curtis entre los tratamientos del área experimental en términos de abundancia de especies

Tabla 2. Matriz de similaridad entre los tratamientos del área experimental en términos de abundancia de especies

| | C | T1 | T2 | T3 |
|----|---|---------|---------|---------|
| C | * | 29,7521 | 24,2038 | 26,5734 |
| T1 | * | * | 45 | 46,2366 |
| T2 | * | * | * | 58,5586 |
| T3 | * | * | * | * |

5.2.2 Composición de los estados inmaduros de la macrofauna edáfica colectada

Para los cuatro tratamientos se registraron estados larvarios de los órdenes coleoptera (94.11%), díptera, hemíptera y lepidoptera con (1.96%), los cuales sumaron un total de 51 individuos. Con respecto a los métodos de colecta, en pitfall sólo se colectó un individuo inmaduro del orden díptera, éste se registró en el tratamiento uno. El resto de las larvas se

obtuvieron de los apiques. La gran mayoría de los estados larvarios pertenecieron al orden coleoptera.

Para el tratamiento control se colectaron cinco individuos representados en cuatro morfoespecies, todos pertenecientes al orden coleoptera, familia scarabeidae.

Para el tratamiento uno se colectaron 16 individuos, representados en ocho morfoespecies. Scarabeidae presentó el (87.5%) con 14 morfoespecies y Staphylinidae (12.5%) con dos individuos (Fig13).

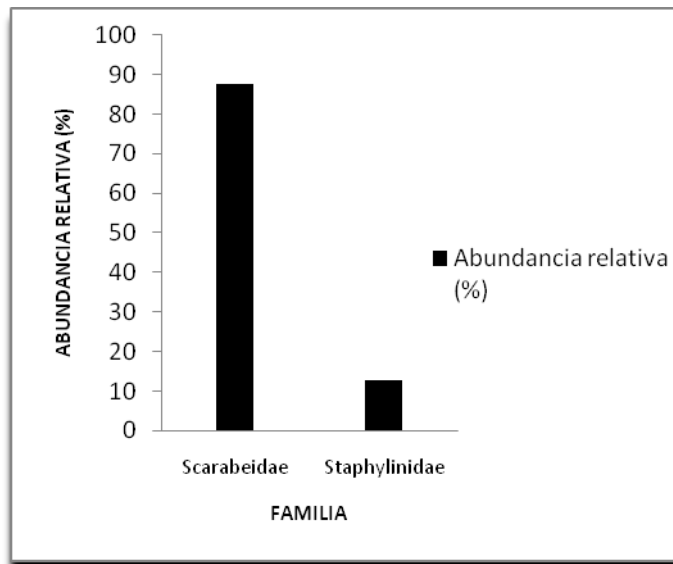
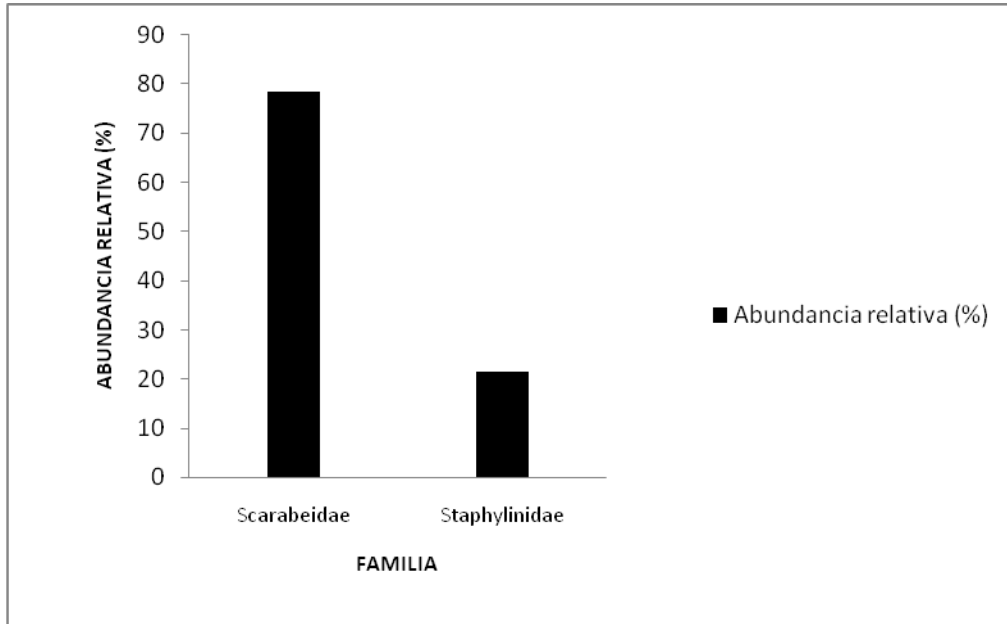


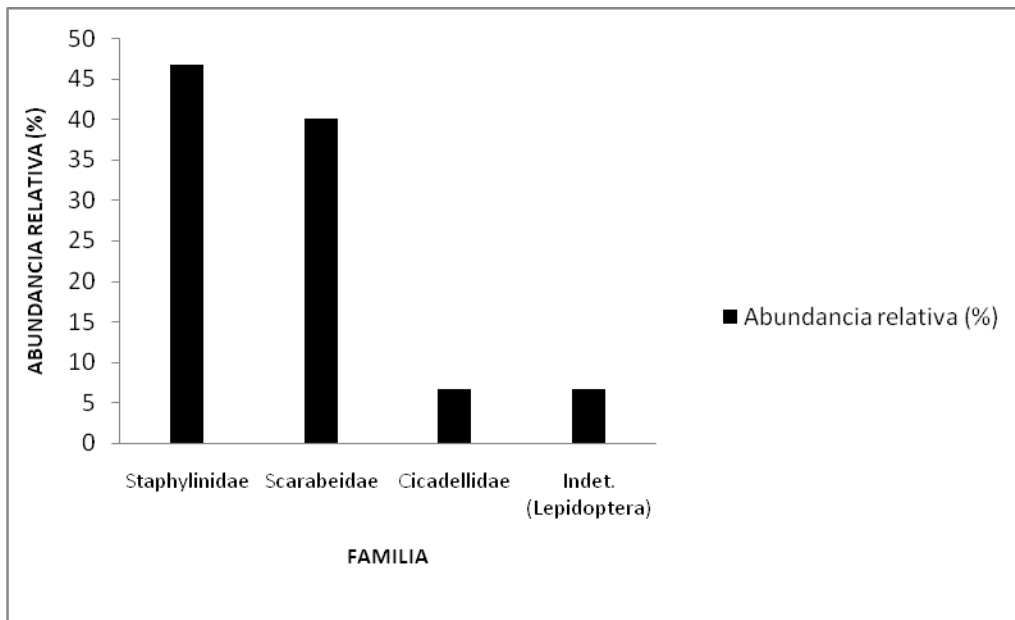
Figura 13. Abundancia relativa de los estados inmaduros en el tratamiento uno

Para el tratamiento dos se encontró se colectaron 14 individuos, representados en siete morfoespecies, de los cuales 11 pertenecieron a Scarabeidae (78.571%) y tres a Staphylinidae (21.428%) (Fig14, A).

Para el tratamiento tres se colectaron en total 15 individuos, representados en nueve morfoespecies. Staphylinidae (46.666%) con siete individuos, Scarabeidae (40%) con seis, Cicadellidae (6.666%) con un individuo y Lepidoptera (6.666%) con un individuo(Fig14, B).



A.



B.

Figura 14. Abundancias relativas de los estados inmaduros en: **A.** El tratamiento dos; **B:** El tratamiento tres

5.2.2.1 Riqueza y abundancia

En total se colectaron 14 morfoespecies. El número de morfoespecies colectadas para el control fue de cuatro; en el tratamiento uno fue de ocho; en el tratamiento dos fue de siete; finalmente en el tratamiento tres fue de nueve morfoespecies (Tabla 3).

5.2.2.2 Diversidad

Los valores de diversidad no fueron muy altos siendo el control el menos diverso, seguido del tratamiento uno, luego del dos y finalmente del tratamiento tres, el cual fue el más diverso (Tabla 3). A partir del análisis de varianza se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ($P < 0.05$). La prueba de Tukey determinó dos grupos: A y B, dentro de los cuales las medias no tienen diferencias significativas; el grupo A correspondió al control y el tratamiento dos, mientras que el grupo B correspondió al tratamiento uno y tres.

5.2.2.3 Dominancia

Los valores de dominancia fueron bajos, mostrando bajas probabilidades de obtener el mismo individuo al extraer dos de la muestra. En orden del valor más bajo al más alto, el tratamiento tres y dos fueron los más bajos, seguido del control y el tratamiento uno (Tabla 3), siendo el tratamiento uno el que presentó el valor más alto, es decir, con mayor probabilidad de que al extraer dos individuos de la muestra sean de la misma morfoespecie. El análisis de varianza mostro que no habían diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ($P > 0.05$).

5.2.2.4 Equidad

Los valores de equidad estuvieron relativamente cercanos a uno (el máximo teórico de la diversidad cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos), siendo el valor más bajo el del tratamiento uno, seguido del tratamiento tres, el control y el tratamiento dos. A pesar de ello, los valores de los tres últimos estuvieron muy cercanos entre

sí (Tabla 3). A partir del análisis de varianza se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ($P < 0.05$). La prueba de Tukey encontró dos grupos: A y B; el grupo A correspondió al control, mientras que el B correspondió a los tratamientos uno, dos y tres. Dentro de cada uno de dichos grupos no había diferencias significativas entre las medias.

Tabla 3. Índices de diversidad, dominancia, equidad, riqueza y abundancia para los estados inmaduros en cada uno de los tratamientos del área experimental

| Tratamiento | C | T1 | T2 | T3 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Diversidad | 1,332 | 1,841 | 1,871 | 2,804 |
| Dominancia | 0,1 | 0,15 | 0,099 | 0,076 |
| Equidad | 0,961 | 0,885 | 0,962 | 0,948 |
| Riqueza específica | 4 | 8 | 7 | 9 |
| Abundancia (total de individuos) | 5 | 16 | 14 | 15 |

5.2.2.5 Distribución vertical

Las familias más abundantes de los estados inmaduros fueron Scarabeidae y Staphylinidae, las cuales se distribuyeron en el perfil de la siguiente manera:

Para la familia Scarabeidae, los individuos se distribuyeron en promedio en la profundidad de 15cm en el control ($M = 15\text{cm}$), mientras que en los tratamientos uno, dos y tres, su distribución promedio fue en la profundidad de 15-30cm ($M = 22.5\text{cm}$, $M = 17.727\text{cm}$ y $M = 22.5\text{cm}$, respectivamente) (Tabla 4).

A nivel global, los individuos de ésta familia se distribuyeron en promedio en la profundidad de 15-30cm ($M = 18.75\text{cm}$).

Tabla 4. Índice de Usher (en cm) para los individuos inmaduros la familia Scarabeidae en cada uno de los tratamientos

| | Familia |
|-------------|-------------|
| Tratamiento | Scarabeidae |
| C | 15 |
| T1 | 22.5 |
| T2 | 17.727 |
| T3 | 22.5 |

Para la familia Staphylinidae, los individuos se distribuyeron en promedio en la profundidad de 0-15cm en los tratamientos uno, dos y tres (M= 15cm). En el control no se halló el índice de Usher debido a que no se colectaron estados inmaduros de Staphylinidae en dicho tratamiento.

5.2.2.6 Similitud

La similitud entre las abundancias de los estados inmaduros en cada uno de los tratamientos se presenta en el dendrograma de Bray Curtis (Fig15).

Entre los tratamientos la similitud fue mayor entre el control y el tratamiento dos (31.57%) y entre el T1 y el T3 (38.7%) (Tabla 5, Fig15). Los menos similares fueron el control y el T3 (10%).

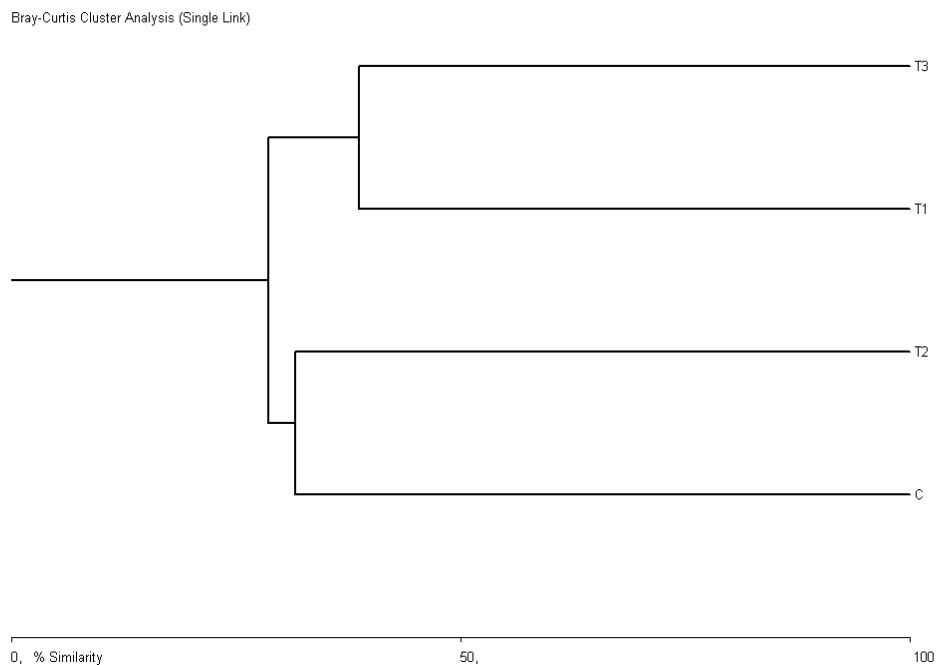


Figura 15. Dendrograma de Bray Curtis entre los tratamientos para las abundancias de los estados inmaduros

Tabla 5. Matriz de similitud (%) entre los tratamientos para los estados inmaduros

| | C | T1 | T2 | T3 |
|----|---|---------|---------|---------|
| C | * | 28,5714 | 31,5789 | 10 |
| T1 | * | * | 26,6667 | 38,7097 |
| T2 | * | * | * | 27,5862 |
| T3 | * | * | * | * |

5.3 Macrofauna edáfica colectada en el área experimental por el método pitfall

5.3.1 Adultos

En el método pitfall se encontraron 49 morfoespecies, todas adultas, representadas en 12 órdenes y 20 familias. En total se colectaron en el método pitfall 289 individuos.

En éste método los órdenes más abundantes fueron Aranea, Malacostra y Ortóptera, representados en las familias Lycosidae, Porcellionidae y Acrididae, con 44%, 13.5% y 13.5% del total de los individuos, respectivamente. Las familias restantes presentaron abundancias bajas (Fig15).

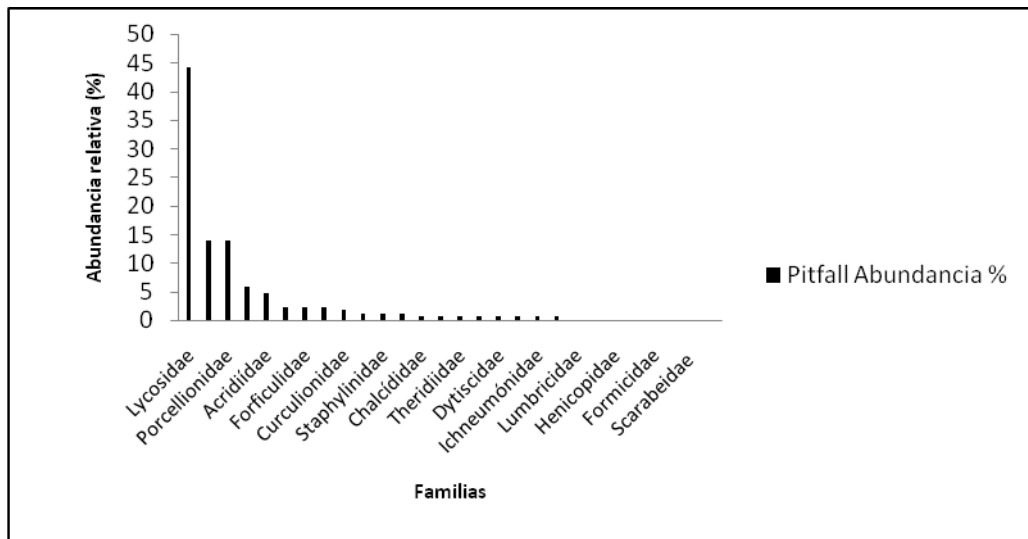
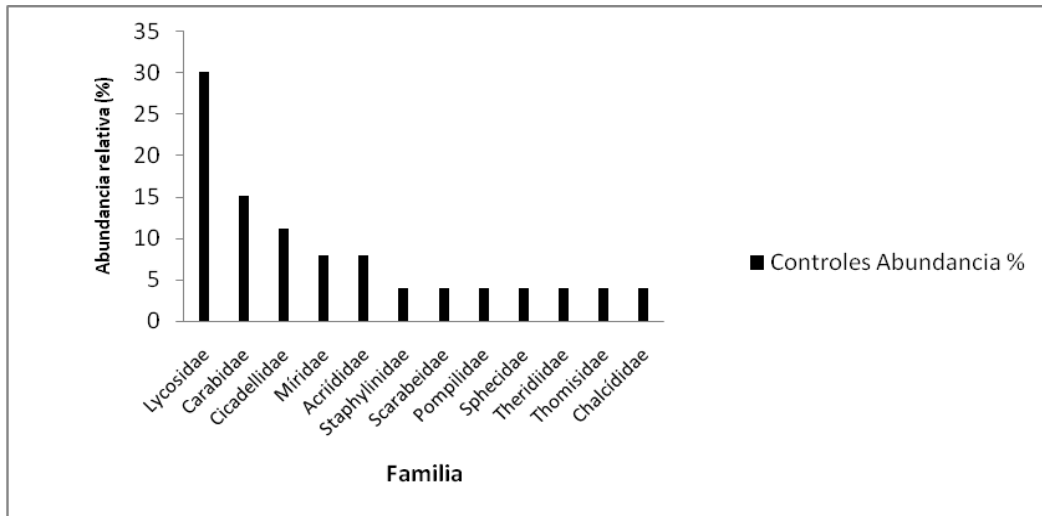


Figura 15. Abundancia relativa de las familias colectadas en pitfall

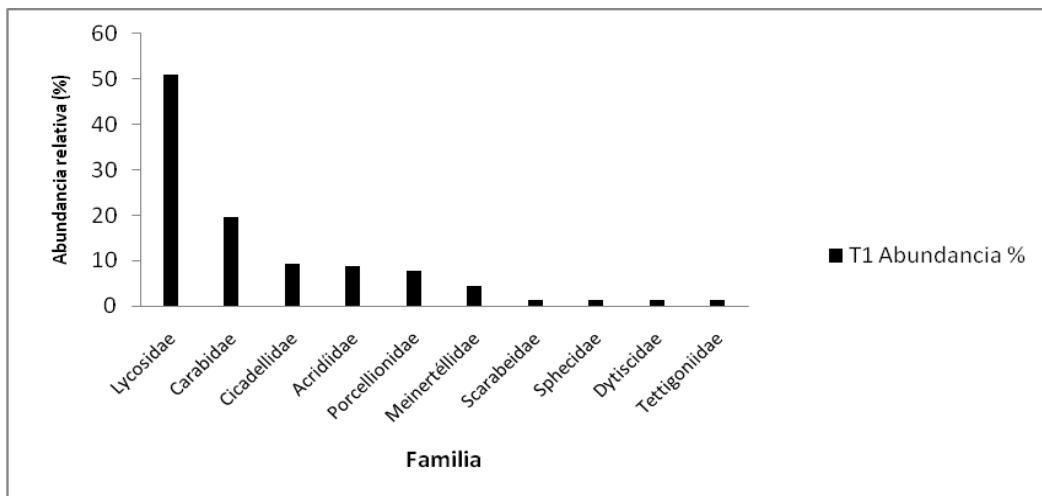
Con respecto a los individuos colectados en las pitfall en los diferentes tratamientos, se encontró lo siguiente:

En el tratamiento control los órdenes más abundantes fueron Aranea, Coleoptera y Hemíptera, representados en las familias Lycosidae (30.769%), Carabidae (15.384%) y Cicadellidae (11.538%). Las familias con menores porcentajes presentaron (3.846%) (Fig16, A).

En el tratamiento uno los órdenes más abundantes fueron Aranea, Coleoptera y Hemíptera, representados en las familias Lycosidae (51.666%), Carabidae (18.333%) y Cicadellidae (8.333%). Las familias con menor porcentaje presentaron (1.666%) (Fig16, B).



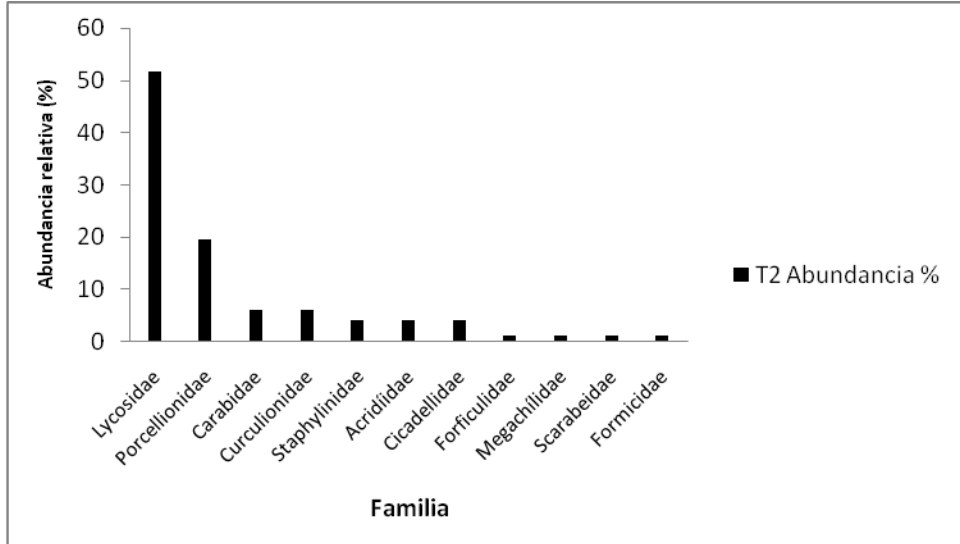
A.



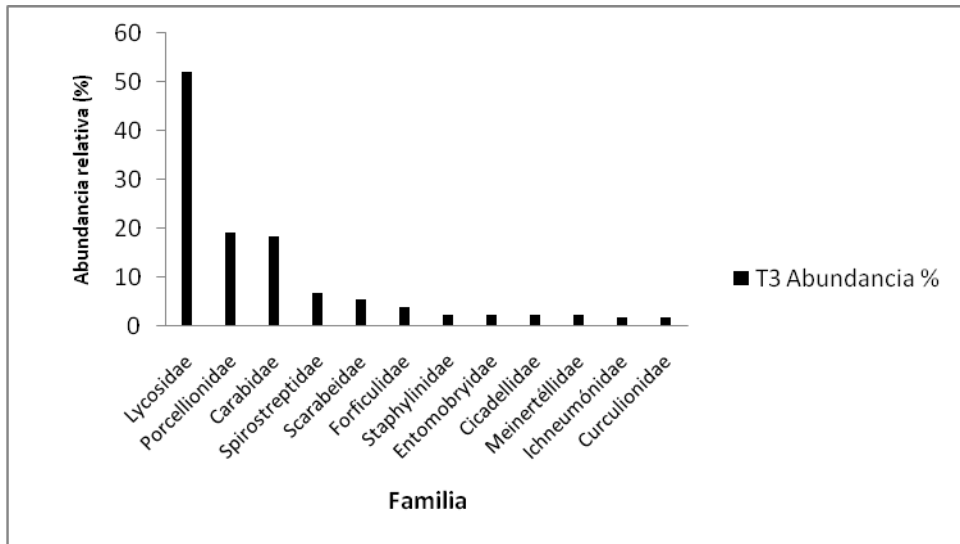
B.

Figura 16. A: Abundancia relativa de las familias colectadas en pitfall, tratamiento control; **B:** Abundancia relativa de las familias colectadas en pitfall, tratamiento uno

En el tratamiento dos, los órdenes más abundantes fueron Aranea, Malacostraca y Coleoptera, representados en las familias Lycosidae (52%), Porcellionidae (18%), Carabidae y Curculionidae (6%). El resto de las familias presentaron porcentajes de 4% a 2% (Fig 17, A).



A.



B.

Figura 17. A: Abundancia relativa de las familias colectadas en pitfall, tratamiento dos; **B:** Abundancia relativa de las familias colectadas en pitfall, tratamiento tres

En el tratamiento tres, los órdenes más abundantes fueron Aranea, Malacostraca y Coleoptera, representados en las familias Porcellionidae (25%), Lycosidae (20%) y Carabidae (18.333%). El resto de familias presentaron porcentajes de (6.667%) a (1.667%) (Fig17, B).

5.3.1.1 Riqueza y abundancia

En total se colectaron 49 morfoespecies. El número de morfoespecies colectadas para el control fue de 19; en el tratamiento uno fue de 23; en el tratamiento dos fue de 26; finalmente, en el tratamiento tres fue de 21 morfoespecies (Tabla 6).

5.3.1.2 Diversidad

Los valores de diversidad e los tratamietos no fueron muy altos. La diversidad fue más mayor en el T3 y el control (Tabla 6). A partir del análisis de varianza, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$).

5.3.1.3 Dominancia

El índice de dominancia para las trampas presetó valores bajos en todos los tratamientos (Tabla 6), reflejando que hay un equilibrio entre las abundancias de las morfoespecies colectadas. Según el análisis de varianza, al igual que la diversidad, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$).

5.3.1.4 Equidad

Los valores de equidad fueron mayores en el control y el T3 (Tabla 6). Dichos valores muestran una baja dominancia de las especies colectadas en los apiques. El ANOVA de una vía indicó que no hay diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$).

Tabla 6. Valores de los índices de diversidad, dominancia y equidad en cada uno de los tratamientos del área experimental para el método pitfall

| Tratamientos | Diversidad | Dominancia | Equidad | Riqueza | Abundancia |
|--------------|------------|------------|---------|---------|------------|
| C | 2.66 | 0.07 | 0.90 | 19 | 33 |
| T1 | 2.37 | 0.179 | 0.75 | 23 | 76 |
| T2 | 2.52 | 0.119 | 0.77 | 26 | 97 |
| T3 | 2.68 | 0.08 | 0.88 | 21 | 83 |

5.3.1.5 Similitud

La similitud entre los tratamientos para el método pitfall en términos de abundancia de morfoespecies se presenta en el dendrograma de Bray Curtis (Fig18).

Entre los tratamientos la similitud fue mayor entre los tratamientos dos y tres (54.43%), seguido de una similitud del 51.99% entre los tratamientos uno, dos y tres, y por último una similitud del 32.721% entre el control, T1, T2 y T3 (Tabla 7).

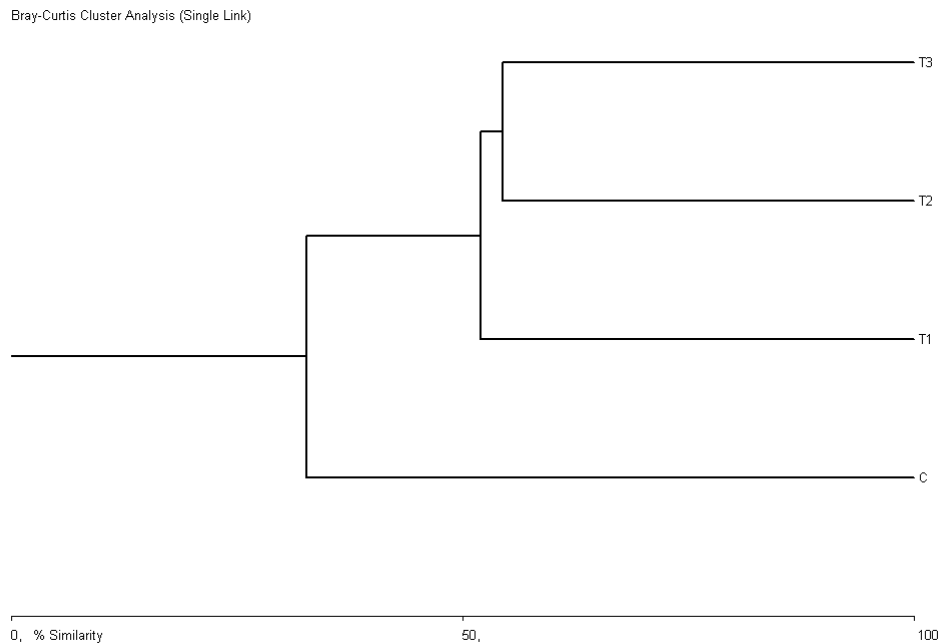


Figura 18. Dendrograma de Bray Curtis entre los tratamientos del método pitfall en términos de abundancia de especies

Tabla 7. Matriz de similitud (%) entre los tratamientos por el método pitfall

| | C | T1 | T2 | T3 |
|----|---|---------|---------|---------|
| C | * | 29,3578 | 24,6154 | 32,7586 |
| T1 | * | * | 52,0231 | 38,9937 |
| T2 | * | * | * | 54,4444 |
| T3 | * | * | * | * |

5.4 Macrofauna edáfica colectada en las muestras de suelo (apiques)

5.4.1 Adultos

En el método apiques se encontraron 39 morfoespecies representadas en diez (10) órdenes y 14 familias. En éste método los órdenes más abundantes fueron Haplotaenida y Coleoptera, representados en las familias Lumbricidae con 37.05% y Enchytraeidae con 36.33% del total. El resto presentaron abundancias bajas (Fig19).

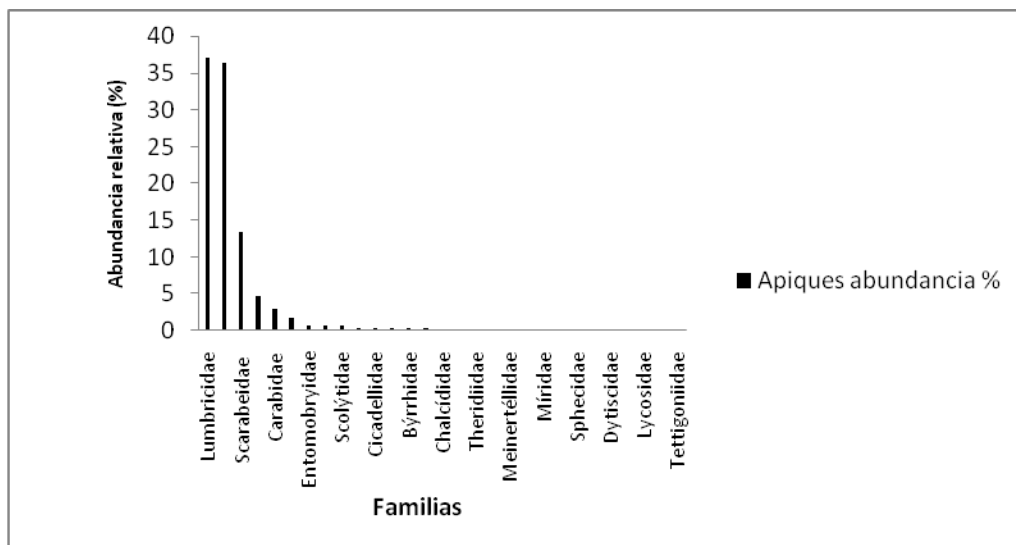


Figura 19. Abundancia relativa de los individuos (adultos) colectados en los apiques

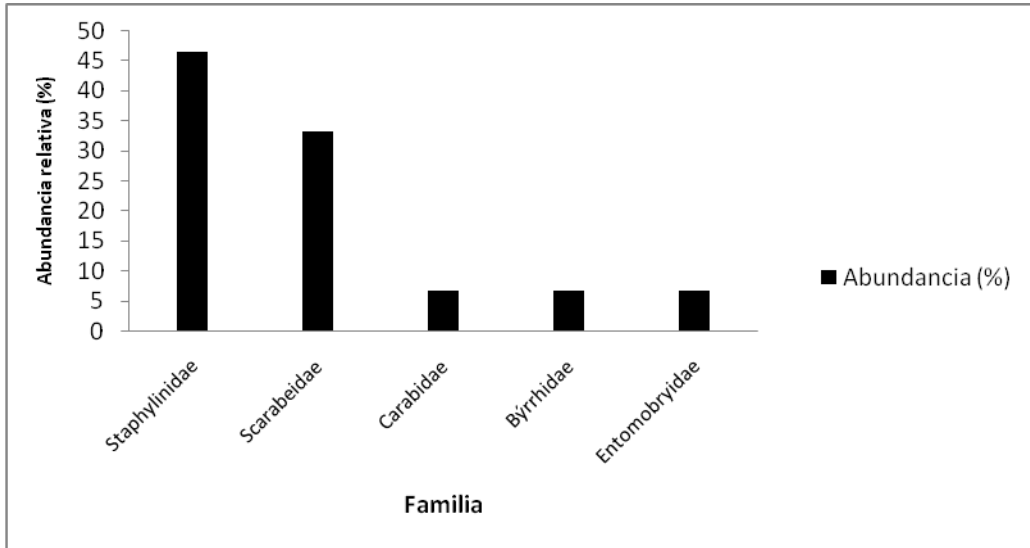


Figura 20. Abundancia relativa de las familias colectadas en apiques, tratamiento control

Con respecto a los individuos colectados en los apiques de los diferentes tratamientos, se encontró lo siguiente:

En el tratamiento control el orden más abundante fue Coleoptera, representado en las familias Staphylinidae con (46.666%) Scarabeidae con (33.333%), Carabidae y Byrrhidae con (7.2%) respectivamente (Fig20).

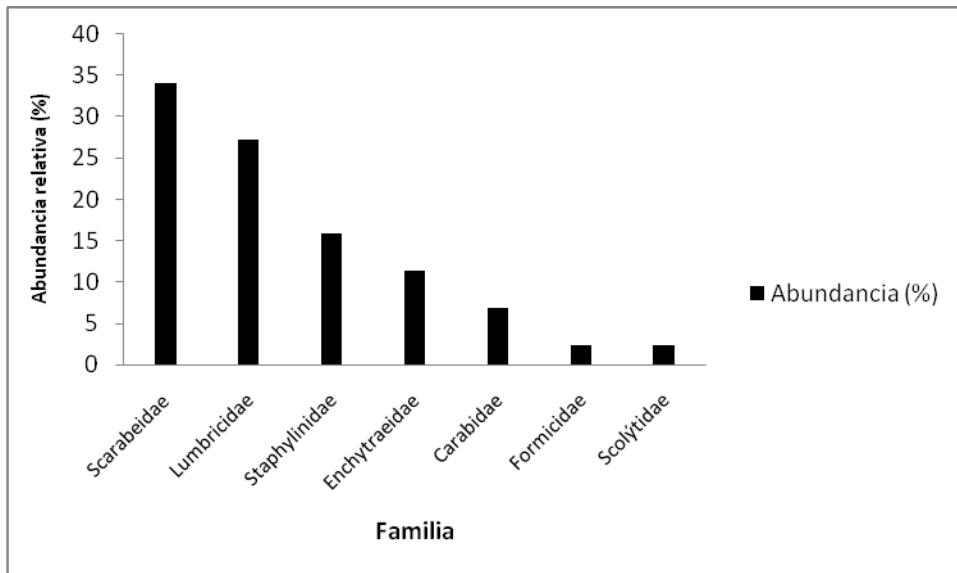


Figura 21. Abundancia relativa de las familias colectadas en apiques, tratamiento uno

En el tratamiento uno los órdenes más abundantes fueron Coleoptera, Haplotaaxida representados en las familias Scarabeidae (34.091%), Lumbricidae (27.273%), Staphylinidae (15.909%) y Enchytraeidae (11.364%). El resto de las familias: Carabidae, Formicidae y Scolytidae presentaron (6.818%) y (2.273%) respectivamente (Fig21).

En el tratamiento dos los órdenes más abundantes fueron Haplotaaxida y Coleoptera, representados en las familias Lumbricidae (48.696%), Enchytraeidae (33.913%) y Scarabeidae (9.565%). El resto de familias presentaron porcentajes entre (3.478%) y (0.870%) (Fig22).

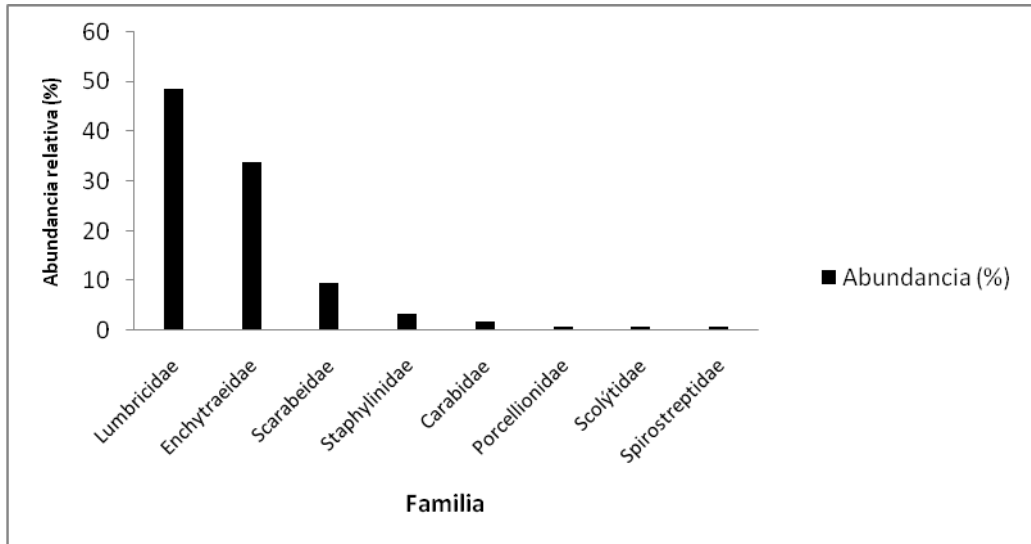


Figura 22. Abundancia relativa de las familias colectadas en apiques, tratamiento dos

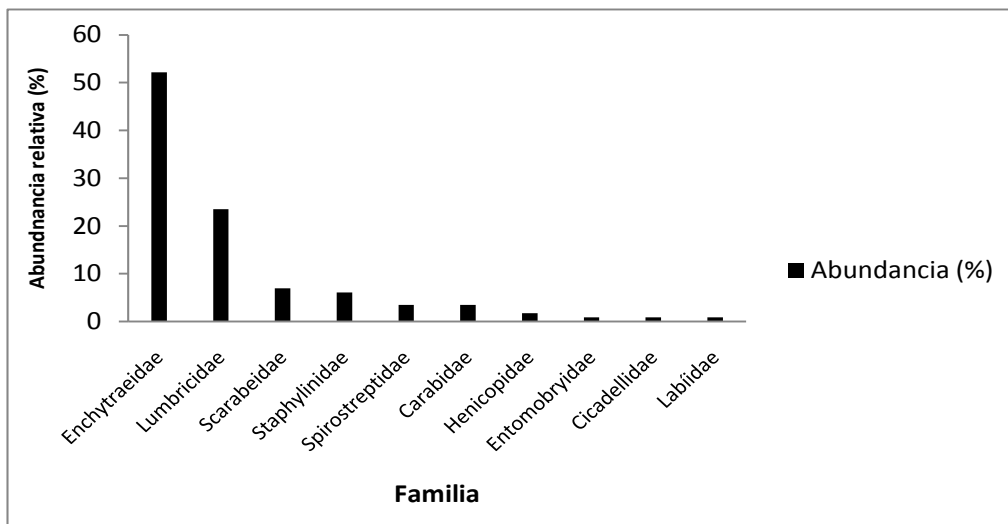


Figura 23. Abundancia relativa de las familias colectadas en apiques, tratamiento tres

En el tratamiento tres el orden más abundante fue Haplotoxida, representado en las familias Enchytraeidae y Lumbricidae con (52.174%) y (23.478%) respectivamente. Las familias restantes presentaron porcentajes entre (6.957%) y (0.870%) (Fig23).

5.4.1.1 Riqueza y abundancia

La riqueza definida como el número de morfoespecies fue mayor en los tratamientos uno, dos y tres con respecto al control. En total se colectaron 29 morfotipos representados en 13 familias. El número de morfoespecies colectadas para el control fue de 8; en el tratamiento uno fue de 21; en el tratamiento dos fue de 21; finalmente, en el tratamiento tres fue de 26 morfoespecies (Tabla 12). A continuación se mostrarán las familias más densas de cada tratamiento.

Para el tratamiento control los órdenes Coleoptera y Collembola representados en las siguientes familias: Staphylinidae fue la de mayor densidad por metro cuadrado con la morfoespecie C28 (0.864 indv/m²), seguidos de los morfotipos de Carabidae (C18), Býrrhidae (C31) y Entomobryidae (CL1) con 0.123 indv/m² (Tabla 8).

En el tratamiento uno de mayor a menor los órdenes Haplotoxida y Coleoptera, representados en las familias con más individuos por metro cuadrado: Lumbricidae con los morfotipos Lu2,

Lu4, Lu5, Lu6, Lu7, Lu8, luego Staphylinidae (C28) 0.617 indv/m², Enchytreidae (E2) 0.617 indv/m², Carabidae (C12 y C32) 0.247 0,123 indv/m² respectivamente, y Scarabeidae (C19) y Scolytidae (C30) con 0.123 indv/m² (Tabla 9). En éste tratamiento C28 y E2 fueron los más abundantes.

En el tratamiento dos, los órdenes Haplotaxida, Coleoptera, Malacostraca y Spirostreptida representados en Lumbricidae, que fue la más densa con los morfotipos Lu1 hasta Lu8, Enchytreidae 5.216 indv/m² (el más abundante en éste tratamiento), Carabidae 0.246 indv/m² y Staphylinidae (C28) y Porcellionidae (Is1), Scolytidae (C30) y Spirostreptidae (D3) con 0.123 indv/m² (Tabla 10).

En el tratamiento tres, los órdenes con más individuos por metro cuadrado fueron Haplotaxida, Coleoptera, Spirostreptida, Lithobiomorpha, Collembola y Dermaptera, representados en las familias Enchytraeidae (morfotipo E2) con 7.407 indv/m², seguido de Lumbricidae con los morfotipos Lu1, Lu2, Lu3, Lu4, Lu6, Lu7, luego Scarabeidae con los morfotipos C22, C19, cada uno con 0.123 indv/m², Carabidae con los morfotipos C18 (0.369 indv/m²) y C12 (0.123 indv/m²) y Spirostreptidae con D3 (0.246 indv/m²) y D4 (0.123 indv/m²), Henicopidae con Ch3 y Ch4, ambos con 0.123 indv/m² y Entomobryidae (CL1) y Labiidae (De4) con 0.123 indv/m² (Tabla 11).

Tabla 8. Densidad de las familias colectadas (indv/m²) en el tratamiento control

| Orden | Familia | Morfoespecie | 0-15* | 15 - 30* | Total (indv/m²) |
|-------------------|----------------------|---------------------|--------------|-----------------|-----------------------------------|
| Coleoptera | Staphylinidae | C28 | 0,74 | 0,123 | 0,864 |
| | Carabidae | C18 | | 0,123 | 0,123 |
| | Býrrhidae | C31 | 0,123 | | 0,123 |
| Collembola | Entomobryidae | CL 1 | 0,123 | | 0,123 |
| | Total | | 0,986 | 0,246 | 1,233 |
| | Riqueza | | | | 4 |

Tabla 9. Densidad de las familias colectadas (indv/m²) en el tratamiento 1

| Orden | Familia | Morfoespecie | 0-15* | 15 - 30* | Total (indv/m ²) |
|-------------|----------------|--------------|-------|----------|------------------------------|
| Haptotaxida | Lumbricidae | Lu2 | 0,37 | | 0,37 |
| | Lumbricidae | Lu4 | 0,123 | | 0,123 |
| | Lumbricidae | Lu5 | 0,123 | | 0,123 |
| | Lumbricidae | Lu6 | 0,123 | | 0,123 |
| | Lumbricidae | Lu7 | 0,493 | | 0,493 |
| | Lumbricidae | Lu8 | 0,246 | | 0,246 |
| Coleoptera | Staphylinidae | C28 | 0,617 | | 0,617 |
| Haptotaxida | Enchytraeidae | E2 | 0,617 | | 0,617 |
| Coleoptera | Carabidae | C12 | 0,247 | | 0,247 |
| | | C32 | | 0,123 | 0,123 |
| | Scarabeidae | C19 | | 0,123 | 0,123 |
| | Scolytidae | C30 | 0,123 | | 0,123 |
| | Total | | 3,082 | 0,246 | 3,328 |
| | Riqueza | | | | 21 |

Tabla 10. Densidad de las familias colectadas (indv/m²) en el tratamiento 2

| Orden | Familia | Morfoespecie | 0-15* | 15 - 30* | Total (indv/m ²) |
|----------------|-----------------|--------------|-------|----------|------------------------------|
| Haptotaxida | Lumbricidae | Lu1 | 0,74 | 0,617 | 1,357 |
| | Lumbricidae | Lu2 | 0,74 | 0,123 | 0,863 |
| | Lumbricidae | Lu3 | 1,111 | 0,123 | 1,234 |
| | Lumbricidae | Lu4 | 0,987 | | 0,987 |
| | Lumbricidae | Lu5 | 0,617 | | 0,617 |
| | Lumbricidae | Lu6 | 0,864 | 0,123 | 0,987 |
| | Lumbricidae | Lu7 | 0,37 | | 0,37 |
| | Lumbricidae | Lu8 | 0,37 | | 0,37 |
| | Enchytraeidae | E2 | 3,076 | 2,14 | 5,216 |
| Coleoptera | Carabidae | C12 | 0,246 | | 0,246 |
| | Staphylinidae | C28 | | 0,123 | 0,123 |
| | Scolytidae | C30 | | 0,123 | 0,123 |
| Malacostraca | Porcellionidae | Is1 | 0,123 | | 0,123 |
| Spirostreptida | Spirostreptidae | D 3 | 0,123 | | 0,123 |
| | Total | | 9,367 | 3,372 | 12,739 |
| | Riqueza | | | | 14 |

Tabla 11. Densidad de las familias colectadas (indv/m²) en el tratamiento 3

| Órden | Familia | Morfoespecie | 0-15* | 15 - 30* | Total (indv/m ²) |
|----------------|-----------------|--------------|--------|----------|------------------------------|
| Haplotaxida | Enchytraeidae | E2 | 7,283 | 0,123 | 7,407 |
| | Lumbricidae | Lu1 | 0,74 | | 0,74 |
| | Lumbricidae | Lu2 | 0,493 | 0,246 | 0,739 |
| | Lumbricidae | Lu3 | 0,493 | | 0,493 |
| | Lumbricidae | Lu4 | 0,74 | | 0,74 |
| | Lumbricidae | Lu6 | 0,493 | | 0,493 |
| | Lumbricidae | Lu7 | 0,123 | | 0,123 |
| Coleoptera | Scarabeidae | C22 | | 0,123 | 0,123 |
| | Scarabeidae | C19 | 0,123 | | 0,123 |
| | Carabidae | C18 | 0,123 | 0,246 | 0,369 |
| | Carabidae | C12 | 0,123 | | 0,123 |
| Siprostreptida | Spirostreptidae | D3 | 0,123 | 0,123 | 0,246 |
| | Spirostreptidae | D4 | 0,246 | | 0,246 |
| Lithobiomorpha | Henicopidae | Ch3 | 0,123 | | 0,123 |
| | Henicopidae | Ch4 | 0,123 | | 0,123 |
| Collembola | Entomobryidae | CL1 | | 0,123 | 0,123 |
| Dermaptera | Labfidae | De4 | 0,123 | | 0,123 |
| | Total | | 11,472 | 0,984 | 12,457 |
| | Riqueza | | | | 17 |

De dichos datos se puede observar que la aplicación de biosólidos se refleja en una gran diferencia en la abundancia y riqueza entre el control y los tratamientos.

5.4.1.2 Diversidad

La diversidad de Shannon presentó valores bajos en los tratamientos (Tabla 12). Según el análisis de varianza de un factor, hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$). A partir de la prueba Tukey, se encontraron dos grupos, uno que correspondía al control y el otro que correspondía a los tratamientos uno, dos y tres. Dichos grupos se diferenciaron significativamente con respecto a sus medias. Dentro de cada grupo, las medias de los tratamientos no difirieron significativamente.

5.4.1.3 Dominancia

El índice de dominancia de Simpson presentó valores bajos en los tratamientos (Tabla 12), mostrando que no hay una dominancia contundente de alguna especie, sino que los valores se

acercan más hacia un equilibrio entre las abundancias de los individuos colectados en los apiques. Se puede notar que al disminuir la diversidad en los apiques, aumenta la dominancia. A diferencia de la diversidad, el anova mostró que no habían diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$).

5.4.1.4 Equidad

Los valores de equidad fueron más altos en el tratamiento uno y el control, los cuales demuestran una tendencia más cercana hacia un equilibrio entre las abundancias de las morfoespecies colectadas. La equidad en el T3 fue la más baja (Tabla 12). El análisis de varianza de una vía mostró que habían diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$). A partir de Tukey se determinó que habían 3 grupos (A, B, C), uno correspondiente al tratamiento control (grupo A), el otro grupo correspondiente al tratamiento uno (grupo B), otro al tratamiento tres (C) y el último grupo al tratamiento dos (grupo BC). Dentro de cada uno de dichos grupos no había diferencias significativas entre las medias. El tratamiento dos se consideró perteneciente a los grupos B y C porque sus medias y las medias de dichos grupos no presentaron diferencias significativas.

Tabla 12. Valores de los índices de diversidad, dominancia y equidad en cada uno de los tratamientos del área experimental para el método apiques

| Tratamientos | Diversidad | Equidad | Dominancia | Riqueza | Abundancia |
|--------------|------------|---------|------------|---------|------------|
| C | 1.70 | 0.82 | 0.20 | 8 | 15 |
| T1 | 2.81 | 0.92 | 0.05 | 21 | 44 |
| T2 | 2.40 | 0.78 | 0.14 | 21 | 114 |
| T3 | 2.12 | 0.65 | 0.27 | 26 | 116 |

5.4.1.5 Similitud

La similitud entre los tratamientos del área experimental en términos de abundancia de morfoespecies se presenta en el dendrograma de similitud de Bray Curtis (Fig24).

La similaridad entre tratamientos fue mayor entre los tratamientos dos y tres con un 62.626%; entre los tratamientos uno, dos y tres, la similaridad fue de un 30.395% y entre el control, T1, T2 y T3 fue de 27.072% (Tabla 11).

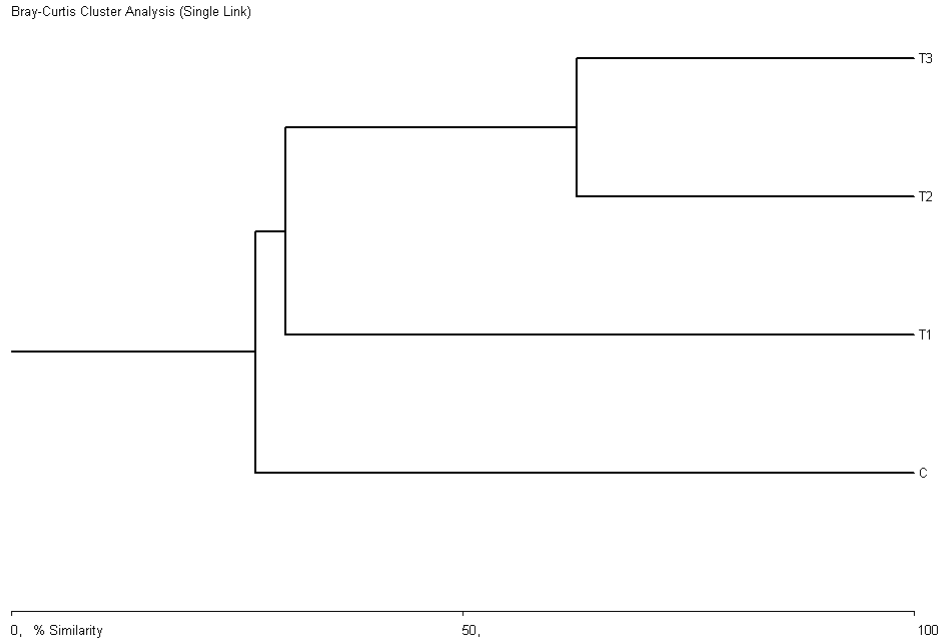


Figura 24. Dendrograma de similaridad entre los diferentes tratamientos del área experimental de la Cantera Soratama, en términos de abundancia de individuos

Tabla 11. Matriz de similaridad para los diferentes tratamientos por el método de apiques

| | C | T1 | T2 | T3 |
|----|---|---------|---------|---------|
| C | * | 27,1186 | 6,2016 | 4,5802 |
| T1 | * | * | 30,3797 | 23,75 |
| T2 | * | * | * | 62,6087 |
| T3 | * | * | * | * |

5.4.1.6 Distribución vertical

La distribución vertical se determinó mediante el índice de Usher, en el cual se escogieron las familias con los morfotipos más abundantes en las muestras de suelo para llevar a cabo el análisis (Barrera *et al.* 2001). Las familias más abundantes fueron Enchytraeidae y Lumbricidae.

Para la morfoespecie E2 de la familia Enchytraeidae, el índice de Usher indicó que en los tratamientos T2 y T3 los individuos se distribuyeron especialmente en la profundidad 15 – 30cm (M= 15,25cm y M= 21,153cm, respectivamente), mientras que para el T1 los individuos se distribuyeron especialmente en la profundidad 0 – 15cm (M= 15cm). No se determinó la distribución vertical para el control debido a que no se colectaron individuos enchytreidos para ese tratamiento.

De manera general, para el perfil total de las muestras de suelo, los individuos de la familia Enchytraeidae se distribuyeron en la profundidad 15 – 30cm (M= 17,451cm) (Tabla 12).

Tabla 12. Índice Usher (en cm) para los individuos de la familia Enchytraeidae (E2), en cada uno de los tratamientos.

| | Familia (morfoespecie) |
|-------------|------------------------|
| Tratamiento | Enchytraeidae (E2) |
| T1 | 15 |
| T2 | 21.153 |
| T3 | 15.25 |

Para la familia Lumbricidae, el índice de Usher indicó que en los tratamientos dos y tres, los individuos se distribuyeron en promedio en la profundidad 15-30 cm (M= 21.153cm y M= 15.25cm respectivamente), mientras que en el tratamiento uno se distribuyeron de 0-15cm (M= 15cm) (Tabla 13). A nivel general la familia Lumbricidae se distribuyó en la profundidad 15-30cm (M= 16.595cm).

Tabla 13. Índice Usher (en cm) para los individuos de la familia Lumbricidae, en cada uno de los tratamientos.

| | Familia |
|-------------|-------------|
| Tratamiento | Lumbricidae |
| T1 | 15 |
| T2 | 17.181 |
| T3 | 16.111 |

6. Discusión

Los resultados de éste trabajo reflejan los cambios en las comunidades de macrofauna edáfica después de seis años de sucesión y nos permiten valorar el uso potencial de los biosólidos como enmienda orgánica para la restauración ecológica de canteras.

Este trabajo hace parte de los pocos realizados sobre el efecto de los biosólidos en la macrofauna edáfica, ya que la mayoría de estudios que se han realizado han sido sobre la acumulación de patógenos y metales pesados provenientes de biosólidos en la macrofauna edáfica, en su distribución y en el suelo (Larsen *et al.* 1996, Barrera *et al.* 2001, Croau *et al.* 2002, Petersen *et al.* 2003, Fountain & Hopkin 2004, Caruso 2009). Es muy importante mencionar que en la actualidad el área experimental ya no contiene biosólidos, debido a que con el tiempo se han mineralizado a materia orgánica.

La materia orgánica proveniente de los biosólidos promueve el establecimiento y una mayor actividad biológica de la macrofauna edáfica, ya que transforma el hábitat, incrementa la disponibilidad de alimento, de refugios y de sitios de reproducción (Barrera *et al.* 2001, Minor & Norton 2004, Andrés & Mateos 2006, Kowaljow & Mazzarino 2007, Tylianakis 2008). A partir de los datos del IGAC (2009), los mayores contenidos de materia orgánica se presentaron en los tratamientos dos y tres, es decir, los tratamientos con mayores dosis de biosólidos.

A nivel general, los valores de diversidad en los tratamientos fueron relativamente altos, con una dominancia baja y una equidad con valores que nos dan a entender que no hay especies que dominen con respecto a las demás. Esto lo explican las buenas proporciones de individuos de las familias en el área experimental. La diversidad fue mayor en el T1, seguido del T2, T3 y por último el control. Éstos resultados muestran que no hay una relación entre el aumento de la diversidad y el aumento de la materia orgánica. Según Wang *et al.* (2009) la descomposición de la materia orgánica no siempre va ligada al aumento de la diversidad de la fauna edáfica, sino está más relacionada con el incremento de las abundancias de los organismos recicladores de materia orgánica. Esto nos podría explicar porque las abundancias fueron mayores en los tratamientos con mayor contenido de materia orgánica (T2 y T3) y porque la diversidad no fue la mayor en dichos tratamientos.

Se encontraron diferencias en cuanto a la abundancia y composición de los individuos adultos e inmaduros en los tratamientos del área experimental de la Cantera Soratama. Dichas diferencias podrían estar relacionadas con la complejidad estructural de la vegetación y por los hábitats y condiciones microclimáticas que proporcionan a la macrofauna (Paeschke *et al.* 2005, Tylianakis 2008). Las diferencias pueden ser debido a que la vegetación proporciona unas condiciones microclimáticas más estables, por ser ésta más densa, haber mayor área foliar y haber mayor cantidad de hojarasca en el suelo, la cual es una fuente importante de alimento para la macrofauna edáfica (Majer *et al.* 2007, Silva *et al.* 2007).

Los resultados de éste estudio para los diferentes tratamientos mostraron que la abundancia y riqueza de individuos de macrofauna edáfica fue mucho mayor en T1, T2 y T3 con respecto al control, lo cual refleja los efectos benéficos de la materia orgánica proveniente de los biosólidos (Croau *et al.* 2002, Petersen *et al.* 2003, Minor & Norton 2004, Barrera *et al.* 2009). A pesar de ello, los valores de diversidad en todos los tratamientos estuvieron cercanos entre sí, siendo levemente mayores los tratamientos T1, T2 y T3 que el control. Se presentó una tendencia similar a la encontrada por Granados (2005), donde se obtuvo una relación inversamente proporcional que mostraba que los tratamientos en los que se había aplicado menores proporciones de biosólidos era mayor la diversidad. Por eso el tratamiento uno tuvo una diversidad mayor que los demás tratamientos. Por el contrario, en éste estudio se observó que la riqueza fue directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica, a medida que aumentaba ésta, aumentaba el número de morfoespecies. Esto nos indica que los bajos contenidos de materia orgánica (T1) son más adecuados para la diversidad de la macrofauna edáfica en general, mientras que los altos contenidos de materia orgánica (T3) son los más adecuados para el mejoramiento de la riqueza y abundancia de morfoespecies de macrofauna edáfica.

Sin embargo, esto va en contra del supuesto: a mayor contenido de materia orgánica, mayor diversidad. Según Begon (2006), la abundancia de las especies es favorecida ante el incremento de la materia orgánica en el medio. Esto no ocurrió en términos de diversidad.

Esta tendencia se vio reflejada en la abundancia de arañas, donde la familia Lycosidae, fue más abundante en el T1 (con menos materia orgánica a diferencia de T2 y T3), mientras que la diversidad fue baja.

Los individuos de ésta familia fueron de los más abundantes en el muestreo realizado, siendo los más abundantes en pitfall. En el método apiques no se colectó ningún individuo de ésta

familia. Esto se debe a que los lycosidos son macrofauna edáfica epigea, que se localiza en la superficie del suelo y no debajo de éste (Parisi *et al.* 2005). Las arañas de la familia Lycosidae se caracterizan por pertenecer al gremio depredador, abundante y dominante en muchas comunidades (Shochat *et al.* 2004). Ésta podría ser una razón por la que fueron la familia más abundante en pitfall.

Según Kirmer *et al.* (2008), a pesar de las condiciones hostiles en un ecosistema degradado por minería y sin ningún plan de restauración, con el pasar de los años dichos ecosistemas empiezan a desarrollar de manera espontánea mosaicos de especies colonizadoras y plantas exóticas (Kirmer *et al.* 2008) Esto podría explicar el aumento de la diversidad de los controles a valores cercanos de los demás tratamientos.

Con respecto a la dominancia en los tratamientos, sus valores no presentaron diferencias significativas entre sí ($P > 0.05$). Dichos valores fueron bajos, muy cercanos a cero, los cuales nos explican que la abundancia de individuos en cada tratamiento estaba equilibrada no había alguna especie que dominara sobre las otras. Estos valores van ligados a los de la diversidad, debido a que los tratamientos más diversos (T1 y T2) fueron los que presentaron valores de dominancia más bajos que el T3. Sin embargo el control presentó valores similares a T1 y T2; a pesar de que fue poco diverso, ninguna morfoespecie colectada en el control fue mucho más abundante con respecto a las otras.

Con respecto a la equidad en los tratamientos, sus valores estuvieron cercanos entre sí, mostrando poca dominancia de alguna especie y habiendo más equitatividad entre los individuos en cada tratamiento. Sin embargo, a partir de la prueba Tukey se reconocieron 2 grupos uno donde estaba el control y el otro grupo con los tratamientos uno, dos y tres. Entre dichos tratamientos, el control fue el que presentó un valor de equidad más bajo. Esto se presenta en los primeros estados de la sucesión, caracterizados por la presencia de especies pioneras que se establecen y se convierten en dominantes. Después, con el tiempo el mejoramiento de las condiciones del hábitat permitirá que lleguen otras especies y que haya más equitatividad (Majer 2007).

De esta información podemos concluir que la diversidad, dominancia y equidad están estrechamente relacionados, cuando la diversidad disminuya aumentará el índice de dominancia y cuando haya mayor diversidad, los valores de equidad, indicarán poblaciones más equilibradas.

En este trabajo, se colectaron individuos de familias características de las primeras etapas sucesionales; familias pioneras que explotan la materia orgánica aportada por los biosólidos en cada uno de los tratamientos (Staphylinidos, Enchytraeidos, Lumbricidos). Dichas especies se caracterizan por ser menos exigentes con el medio (Brown 2001). Se colectaron familias depredadoras como hemicopidae, carabidae y staphylinidae, que son de estados sucesionales más avanzados, las cuales se alimentan de grupos que explotan la materia orgánica. También se colectaron familias omnívoras y herbívoras como curculionidae, acrididae, míridae y cicadellidae, las cuales son de estados de sucesión más avanzados que las familias omnívoras. Éstas familias herbívoras aprovechan la vegetación que se ha ido desarrollando en cada uno de los tratamientos (Majer *et al.* 2007). En éste muestreo fueron abundantes los grupos explotadores de materia orgánica (principalmente en T3 y T2), algunos depredadores y herbívoros, que fueron menos abundantes. Esto puede ser muy útil para indicarnos la etapa sucesional en la que se encuentra el área experimental.

En éste muestreo se registraron nuevos morfotipos que no se habían colectado en trabajos anteriores, lo cual está acorde con estudios de la sucesión de la macrofauna edáfica en zonas mineras. Los cambios en la composición de las especies van ligados a cambios de los nutrientes en el suelo, el pH del suelo, la cantidad y distribución de materia orgánica, los cuales incrementan la actividad biológica (Huttl & Weber 2001). Esto se apoya a partir de los datos del IGAC (2009), donde el control presentó valores de pH fuertemente ácidos (4.9 – 5.1), con los mayores porcentajes de arena y con bajos porcentajes de materia orgánica. Estas características del suelo son determinantes para los gusanos de tierra y otros grupos de macrofauna edáfica.

Dentro de los gusanos de tierra, los individuos de las familias Lumbricidae y Enchytraeidae fueron los más abundantes en el muestreo realizado. Esto se debe a que son muy buenos agentes descomponedores y son muy importantes en la humificación de la materia orgánica (Emmeling & Paulsch 2001). Sin embargo, los individuos de estas familias son susceptibles ante ambientes bajos de materia orgánica. Según Emmerling & Paulsch (2001), las poblaciones de éstas lombrices es muy baja o nula en suelos arenosos y afectados por minería a cielo abierto y puede llegar a incrementarse mucho por el efecto de biosólidos. Otros estudios indican que se ven afectados ante suelos con pHs muy ácidos (Lavelle *et al.* 1995, Varela *et al.* 2007). De ahí que no se hayan colectado en los controles y que sus abundancias hayan sido mayores con el aumento de la materia orgánica en los tratamientos. Otros estudios muestran resultados

similares, donde las densidades de población de gusanos de tierra, consumo de nutrientes y la fabricación de madrigueras o estructuras biogénicas se ven incrementadas ante la aplicación de biosólidos y el aumento en la humedad de los suelos (Emmerling & Paulsch 2001). Por eso, la disponibilidad de nutrientes provenientes de los biosólidos ha permitido una mayor abundancia de éstos individuos. Sumado a esto, su importante labor al facilitar la movilización de nutrientes, la actividad microbiana, la creación de poros subterráneos que facilitan la circulación de agua, aire y los ambientes con buena humedad y temperatura permiten el crecimiento de vegetación y el posterior aporte de más materia orgánica (raíces muertas, hojarasca, residuos de plantas) por parte de éstas (Emmerling & Paelsch 2001).

Sin embargo, a pesar de que la colonización de los gusanos de tierra es rápida (menor a cinco años), se cree que el desarrollo de la comunidad completa se consigue mucho más allá de los 50 años (Snyder & Hendrix 2008).

A pesar de que los suelos ácidos limitan las poblaciones de gusanos de tierra, se ha observado que estos suelos pueden albergar poblaciones diversas y abundantes de invertebrados (Lavelle *et al.* 1995, Varela *et al.* 2007). Los suelos ácidos pueden favorecer el aumento de hojarasca en el suelo, lo que contribuye a la abundancia de miriápodos, isópodos y coleópteros (Lavelle *et al.* 1995, Varela *et al.* 2007). Sin embargo, ésta afirmación sólo se cumplió para los coleópteros, ya que en los suelos ácidos de los controles (IGAC 2009) no se colectaron isópodos y miriápodos.

Otros estudios (Borror *et al.* 1992, Snyder & Hendrix 2008) confirman que los isópodos de la familia porcellionidae se ven atraídos ante fuentes putrefactas, con alto contenido de materia orgánica. Los porcellionidos son individuos con hábitos saprófagos, que necesitan fuentes con alto contenido de materia orgánica para llevar a cabo su función detritívora (Snyder & Hendrix 2008). Esto pudo haber influido en la presencia de estos individuos, los cuales no se colectaron en los controles y se registraron principalmente en los tratamientos con mayores cantidades de materia orgánica, T2 y T3.

Los individuos de éstas familias (enchytraeidae, porcellionidae) y la familia spirostreptidae, estuvieron restringidos a los tratamientos dos y tres. Según la literatura éstas familias son consideradas de ambientes con buenos contenidos de materia orgánica (Silva *et al.* 2007). Los estudios han demostrado que la aplicación de biosólidos favorece en gran medida la actividad biológica de éstos organismos (Adesonum *et al.* 2005). Con el aumento de los nutrientes provenientes de los biosólidos, las poblaciones de éstas familias se restablecen más fácilmente,

esto se puede observar mirando la abundancia del morfotipo E2 de la familia enchytraeidae, el cual presentó mayor abundancia en el tratamiento tres, con mayor contenido de materia orgánica.

A pesar de que la materia orgánica aportada por los biosólidos favoreció las abundancias de individuos de las familias Lycosidae, Enchytraeidae, Lumbricidae y Scarabeidae, aún no satisface las necesidades de otros individuos con necesidades más exigentes como hemípteros y hormigas, los cuales fueron escasos y son también bioindicadores de estados más avanzados de la sucesión en los ecosistemas (Majer *et al.* 2007).

Aparte del hallazgo de grupos saprófagos como Enchytraeidos y Porcellionidos, se encontraron otras familias saprófagas como Labiidae y Forficulidae. Los individuos de éstas familias se colectaron sólo en el tratamiento tres, lo cual está concorde a estudios que señalan que estas dos familias se ven atraídas ante gran cantidad de materia orgánica (Ortega 2008).

En cuanto a otros grupos de macrofauna edáfica, los individuos de la familia Staphylinidae, que fueron de los más abundantes en el trabajo de Granados (2005), fueron los más abundantes en el control. Este resultado se debe a que no son tan exigentes con el medio, las características de los suelos de los controles con terrenos más agrietados les permitieron establecerse. Sumado a esto, por ser voladores y muchos de ellos por ser pequeños, pudieron dispersarse fácilmente con el viento, lo que habría permitido que sus estados larvarios hayan sido de los más abundantes (Borror 1992, Cárdenas *et al.* 2001) Los stafilinidos son de las familias de coleópteros más exitosas ya que se encuentran en casi todos los hábitats (hojarasca, flores, frutos, musgos, troncos en descomposición, excremento, nidos de otros animales, etc.). Algunos estudios muestran que suelen asociarse con hormigas de la familia formicidae (Cárdenas *et al.* 2001). De ahí que la falta hormigas habría limitado la aparición de éstos individuos.

En cuanto a los estados larvarios que se colectaron, casi en su totalidad provinieron del método apiques. Esto se debe a que muchas larvas colectadas son saprófagas, se entierran debajo del suelo en búsqueda de materia en descomposición. Parte de ésta etapa de su ciclo de vida debe ser debajo de la tierra, para protegerse de predadores (Santos *et al.* 2007, Snyder & Hendrix 2008). Se cree que la escasa abundancia de éstas larvas en los controles es por la falta de

materia orgánica la cual permite su diversificación (Varela *et al.* 2007, Majer *et al.* 2007, Silva *et al.* 2007). Por eso, los estados larvarios fueron más abundantes en el T3.

Los individuos de la familia carabidae fueron de los más abundantes en el muestreo, especialmente en el método pitfall. En apiques no fueron tan abundantes debido a que ésta familia se caracteriza por ser epigea (Larsen *et al.* 2003). Ésta familia se presenta en diversidad de hábitats y depende de la estructura de la vegetación (Larsen *et al.* 2003). La densidad de la vegetación puede impedir la actividad depredadora de ésta familia, si es muy densa los carábidos no podrán moverse con mucha libertad. Por eso, la vegetación herbácea y de tipo arbustivo es adecuada para que lleven a cabo sus actividades biológicas (Larsen *et al.* 2003). Esto podría explicar porque fueron más abundantes en los controles y T1 a diferencia de T2 y T3, teniendo en cuenta que la vegetación era menos densa en los primeros.

Diversos estudios muestran la importante relación entre la vegetación y los carábidos (Cividanes & Cividanes 2008). Según los autores, la vegetación le proporciona un abrigo a éstos coleópteros, facilitándoles su actividad biológica, atrayendo más presas a éstos depredadores y facilitando su diversificación. Por lo tanto, la presencia de hábitats alternativos en las cercanías al área experimental sería un buen componente del ecosistema, al poder contribuir al aumento de la densidad y diversidad de especies de carábidos en los tratamientos (Cividanes & Cividanes 2008).

6.1 Método pitfall

Las morfoespecies colectadas mediante éste método reflejan el éxito de las morfoespecies epigeas. Éste éxito es por las fuentes de alimento, materia orgánica y el pH del suelo (Andrés & Mateos 2006, IGAC 2009, Majer 2007, Santos *et al.* 2007). Los resultados de éste método presentaron tendencias distintas a las obtenidas a nivel general y en el método apiques.

Los valores de riqueza y abundancia en éste método presentaron una tendencia inversamente proporcional a la cantidad de materia orgánica, T1 y T2 presentaron mayor cantidad de morfoespecies y de individuos, lo cual fue similar al de Granados (2005). Este resultado puede ser debido al alimento que proporciona la materia orgánica, el cual atrae mayor cantidad de morfoespecies a la zona. A mayor cantidad de materia orgánica aportada por el suelo y la

vegetación superficial, mayor cantidad de individuos dependientes de éstas habrán. Esto explica las diferencias entre el control y los demás tratamientos.

La diversidad presentó una tendencia diferente, en los controles y el T3 se presentó la mayor diversidad. A pesar de que T1 y T2 presentaron más morfoespecies, tuvieron menor diversidad. Esto puede deberse a que el control y el T3 tuvieron las abundancias de sus individuos repartidas de manera más equitativa, mientras que T1 y T2 no. De ahí que los resultados de equidad y dominancia mostraran una repartición de abundancias de individuos más equilibrada y por ende una menor probabilidad de encontrar individuos de la misma especie en el control y T3.

Las diferencias en cuanto a riqueza y diversidad nos muestran que los bajos contenidos de materia orgánica (T1) favorecen el aumento de la riqueza y abundancia de las morfoespecies epigeas, mientras que los altos contenidos de materia orgánica (T3) (provenientes de la mineralización de los biosólidos) favorecen más la diversidad de las mismas. Estos resultados podrían explicarse por la abundancia de la familia Lycosidae en el T1, lo cual habría alterado los valores de diversidad.

El análisis de varianza indicó que no había diferencias significativas para la diversidad, equidad y dominancia. Esto puede ser porque los animales presentes son muy móviles y las áreas de las parcelas son pequeñas, razón por la que se supone que pueda haber una mezcla de especies entre los tratamientos.

Las diferencias presentadas en cuanto a la estructura y composición del método pitfall con respecto a los resultados generales y los apiques se deben principalmente a que la materia orgánica de los biosólidos favoreció la dominancia de algunas familias epigeas en particular. Esto se vio reflejado en los valores de diversidad, dominancia y equidad para los distintos tratamientos sujeto de éste método. De manera que en las primeras etapas sucesionales, la materia orgánica favorece más a especies pioneras, envés de grupos mayores de especies.

6.2 Método apiques

Los resultados de éste método fueron más similares a los resultados generales, a diferencia de los resultados del método pitfall.

En las parcelas con biosólidos se observa una mayor supervivencia y acumulación de especies, ya que la macrofauna edáfica presenta etapas importantes de su ciclo de vida debajo del suelo

(etapas de huevo, larva, pupa y adultos que se refugian de algún depredador) (Santos *et al.* 2007, Snyder & Hendrix 2008). Al encontrar los nutrientes adecuados para su supervivencia, la macrofauna edáfica permanece allí para completar su ciclo de vida. Esto se puede observar comparando la abundancia de estados inmaduros y gusanos en los controles y los tratamientos uno, dos y tres, donde en los controles casi no presentó ningún individuo.

La diversidad presentó una tendencia similar a la obtenida por Granados (2005), donde el T1 presentó mayor diversidad que los demás tratamientos, siendo el control el que presentó menor diversidad. Éstos resultados se vieron reflejados en los valores de dominancia, donde la menor probabilidad de extraer individuos de la misma especie la presentó T1, mientras que T2 y T3 mostraron mayor probabilidad. La equidad fue más cercana a uno (1) para el T1, lo que quiere decir que en éste tratamiento la cantidad de especies era más equilibrada a diferencia de los demás. Para la diversidad el ANOVA mostró diferencias significativas entre los tratamientos, donde la prueba Tukey identificó que habían dos grupos: uno perteneciente al control y el otro a T1, T2 y T3. El grupo perteneciente a T1, T2 y T3 no mostró diferencias significativas entre sí. Éstos resultados nos muestran los efectos benéficos de la materia orgánica proveniente de los biosólidos, donde las proporciones más bajas siguen siendo las más adecuadas para el incremento de la diversidad de la macrofauna hipogea. Según Wang *et al.* (2009) los mayores contenidos de materia orgánica favorecen más la abundancia de las morfoespecies, envés de la diversidad. Esto concuerda con lo obtenido en éste trabajo donde las mayores abundancias se presentaron en T2 y T3, los tratamientos con más materia orgánica.

El ANOVA no mostró diferencias significativas para los valores de dominancia entre los tratamientos, mientras que para el índice de equidad, la prueba Tukey sugirió diferencias similares a las presentadas en la diversidad, diferenciándose el control de los demás tratamientos.

Éste método de muestreo se caracterizó por la abundancia de gusanos de tierra, la abundancia de las larvas Scarabeidae y la ausencia de arañas.

Con respecto a la familia Scarabeidae, presentó gran cantidad de individuos en estado larvario. Las larvas de la familia scarabeidae se restringen al subsuelo para llevar a cabo su ciclo de vida. Éstas larvas dependen mucho de la materia orgánica del subsuelo ya que les brindan los nutrientes necesarios para suplir sus altas necesidades fisiológicas en ésta etapa de su ciclo de

vida (Locarno *et al.* 2005). Por eso, ésta familia fue muy escasa en los controles los cuales no les ofrecieron los nutrientes necesarios para su desarrollo.

6.3 Distribución vertical de las familias más abundantes y estados inmaduros

El índice de Usher para los estados inmaduros indica que la familia Scarabeidae se desplaza verticalmente en promedio a la profundidad de 15-30cm (M= 18.75cm) (controles a 0-15cm, T1, T2 y T3 a 15–30cm). En los controles dicha profundidad puede ser porque las fuentes de carbono no se encuentran a profundidades mayores a los 15cm, sino que están más superficialmente. Por lo que no se aplicó biosólido en éste tratamiento, la única fuente de materia orgánica la habría proporcionado la hojarasca en la superficie del suelo (Majer *et al.* 2007). En los tratamientos uno, dos y tres las larvas Scarabeidae se distribuyeron en promedio a 15-30cm. Esto se puede sustentarse a partir del trabajo realizado por Guacaneme (2005), en el que se encontró que el porcentaje de materia orgánica y humedad fue mayor en la profundidad de 15-30cm.

Con respecto a los estados inmaduros de la familia Stafilinidae, se distribuyeron en promedio a la profundidad de 0-15cm. En el control no se colectó ningún individuo de ésta familia. Éste resultado está acorde con lo encontrado por Granados (2005), lo cual puede deberse a que ésta familia depende más de la hojarasca superficial (Majer *et al.* 2007).

Según Andrés & Mateos (2006), la fauna del suelo puede migrar a capas más profundas del suelo dependiendo de las condiciones climáticas y de las condiciones tróficas. Esto podría explicar porque la distribución de la macrofauna edáfica en el área experimental fue principalmente en la profundidad de 15 a 30cm, donde la materia orgánica la habría atraído.

Para los adultos las familias más abundantes fueron Enchytraeidae y Lumbricidae. Estas dos familias se distribuyeron en promedio a la profundidad de 15-30cm. A nivel de tratamientos no se halló Usher en el control debido a que no se colectaron individuos de éstas familias en dicho tratamiento. Al distribuirse la materia orgánica y la humedad a mayores profundidades (15-30cm), los individuos de éstas familias se vieron atraídos por ésta. Ésta tendencia se presentó para T2 y T3, sin embargo para T1, donde la distribución fue de 0-15cm y por tener menor proporción de biosólidos, los gusanos se habrían movilizadо más superficialmente y habrían dependido más de la cantidad de hojarasca superficial (Majer 2007).

Estos resultados nos demuestran que factores como la cantidad de materia orgánica, la distribución de materia orgánica y el pH del suelo son factores que influyen en la distribución vertical de la fauna edáfica.

7. Conclusiones

- Éste muestreo nos sigue demostrando que la materia orgánica proveniente de los biosólidos es una enmienda eficaz para el repoblamiento y colonización de fauna edáfica en suelos disturbados
- Los bajos (T1 y T2) contenidos de materia son los más adecuados en términos de diversidad de macrofauna edáfica epigea, mientras que los mayores contenidos de materia orgánica (T3) son más adecuados para la diversidad de macrofauna edáfica hipogea
- Los altos contenidos de materia orgánica (T3) contribuyen al incremento de la abundancia, en especial de las familias Lumbricidae y Enchytraeidae
- Actualmente en el área experimental no hay similitud entre el control y los diferentes tratamientos

8. Recomendaciones

- Se necesitan hacer más estudios en los que se evalúe los efectos de los biosólidos sobre el repoblamiento y colonización de la fauna edáfica
- Es importante realizar evaluaciones del estado actual de la fauna edáfica en épocas diferentes a las que se muestreó en éste trabajo, para establecer diferencias entre el estado de la macrofauna edáfica en épocas de lluvia y en otras épocas del año. Esto sería muy útil para confirmar las ausencias y abundancias de algunos individuos que fueron muy escasos en éste muestreo

- Es muy importante seguir realizando evaluaciones de la vegetación y el suelo en el área experimental, ya que éstos están muy relacionados con la estructura y composición de la macrofauna edáfica
- Se necesitan hacer más estudios durante varios años para saber cómo va evolucionando la restauración ecológica en el área experimental de la Cantera Soratama
- Se podrían realizar otros estudios en los que se utilicen dosis diferentes de biosólidos
- Es importante ahora empezar a realizar análisis más específicos sobre los efectos de los biosólidos familias bioindicadoras en concreto
- Sería bueno realizar otros estudios en los que se pruebe el efecto de la inoculación de especies pioneras que aceleren la sucesión ecológica

9. Referencias

Al-assiuty, A., M. Khalil & H. Abdel-Lateif. 2000. Effects of dry sludge application on soil microarthropod communities in a reclaimed desert ecosystem. *Pedobiología*. 44: 567-578.

Alvarez, A. 2005. Estudio de la comunidad de Coleópteros en áreas con diferente condición de abandono en la cantera Soratama. Localidad Usaquén. Bogotá. D.C. Tesis de pregrado (Biólogo). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ciencias, carrera de Biología. 96pp.

Álvarez, A. & Granados, A. 2006. Efecto de la aplicación de biosólidos en diferentes proporciones como enmienda orgánica sobre el repoblamiento de la macrofauna edáfica en la Cantera Juan Rey, Bogotá D.C. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, 72pp.

Andersen, A., Hoffman, D. & Somes, J. 2003. Ants as indicators of minesite restoration: community recovery at one of eight rehabilitation sites in central Queensland. *Ecological Management and restoration*. 4: 12 - 19

Anderson, J. & Ingram, J. 1998. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. 2nd edition. Wallingford, UK : CABI, 221pp.

Andrés, P. & Mateos, E. 2006. Soil mesofaunal responses to post-mining restoration treatments. *Applied Soil Ecology*. 33 (2006): 67–78

Aquino, A., Silva, R., Mercante, F., Correia, M., Guimaraes, M. & Lavelle, P. 2008. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. *European journal of soil biology*. 44 (2008): 191 – 197

Atkinson, I. 1994. *Guidelines to the Development and Monitoring of Ecological Restoration Programmes*. Department of Conservation Technical Series no. 7. Department of Conservation, Wellington

Baretta, D., Brescovit, A., Knysak, I. & Cardoso, E. 2007. TRAP AND SOIL MONOLITH SAMPLED EDAPHIC SPIDERS (ARACHNIDA: ARANEAE) IN *Araucaria angustifolia* FOREST. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.). 64(4): 375-383

Barrera, I., Contreras, S., Ochoa, A., Perilla, S., Garzón, N. & Rondón, D. 2009. Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C.

Barrera, I., P. Andrés & J. Alcañiz. 2001. Sewage Sludge Application on Soil: Effects on Two Species Earthworm species. Water, Air, and Soil Pollution. 129: 319– 332

Barros, E., Neves, A., Blanchard, E., Fernandes, E., Wandelli, E. Lavelle, P. 2003. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia, Pedobiologia 47 (2003) 273–280

BAS 2002. Situación Actual y futura del aprovechamiento de los biosólidos de la PTAR El Salitre en el Relleno Sanitario Doña Juana. Bogotana de Aguas y Saneamiento (BAS). Documento Interno. Bogotá. Pp: 1-5.

Begon, M., Townsend, C. & Harper, J. 2006. Ecology: from individuals to ecosystems. Fourth Edition. Blackwell Publishing Ltd. 738pp.

Borror, D. J., C. A. Triplehorn & N. F. Johnson. 1992. An introduction to the study of insects. Sixth Edition. Saunders College Publishing. New York. Pp. 875

Bowie, M & Frampton, C. 2004. A practical technique for non-destructive monitoring of soil surface invertebrates for ecological restoration programmes. Ecological Management and restoration. 5(1): 34 - 42

Brown, G., C. Fragoso, I. Barois, P. Rojas, J. Patrón, J. Bueno, A. Moreno; P. Lavelle, V. Ordaz & C. Rodríguez. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. Acta Zoológica Mexicana. Número especial 1: 79-110.

Brown, G., A. Pasini, N. Benito, A. Aquino & M. Fernandes. 2001b. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no tillage agroecosystems: a preliminary analysis. International Symposium on managing biodiversity in agricultural ecosystems. Montreal. Canadá. 1-20

Brown, G. 2005. How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity?. *Plant and Soil* 170 (1995): 209–231

Brussaard, L. 1998. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology*. 9: 123 - 135

Campos, C. 2006. Evaluación del comportamiento de indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales y fagos somáticos) en mezclas de aridos y biosólidos empleados en la restauración ecológica de la Cantera Juan Rey, Bogotá, D.C. Trabajo de grado. (Microbiólogo Industrial). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ciencias, carrera de Microbiología Industrial. Bogotá, 20pp.

CAR, 2006. Minería no se compadece con la Sabana de Bogotá. Carta Ambiental. http://www.car.gov.co/documentos/1_16_2007_8_47_15_AM_Informe.pdf. 21pp.

Cárdenas, R. Armbrrecht, I. & Chacón, P. 2001. STAPHYLINIDAE (COLEOPTERA): COMPOSICION Y MIRMECOFILIA EN BOSQUES SECOS RELICTUALES DE COLOMBIA. *Folia Entomol. Mex.* 40(1):1-10.

Cárdenas, M. & Reina, M. 2008. La minería en Colombia: impacto socioeconómico y fiscal. Fundación para la educación superior y desarrollo. <http://www.andi.com.co/camaras/Asomineros/Presentaciones/Informe%20de%20Fedesarrollo.pdf>. 107pp.

Caruso, T., Migliorini, M., Bucci, C. & Bargagli, R. 2009. Spatial patterns and autocorrelation in the response of microarthropods to soil pollutants: The example of oribatid mites in an abandoned mining and smelting area. *Environmental Pollution* 157 (2009) 2939–2948

Chamorro, C. 1990. Los páramos que circundan la ciudad de Bogotá. *Investigaciones*. 2 (1): 11-45.

Cividanes, F. & Cividanes, T. 2008. Distribuição de Carabidae e Staphylinidae em agroecossistemas. *Pesq. agropec. bras.* Brasília. 43(2): 157-162

Correa, A. 2000. La explotación Racional de Canteras y su Incidencia en el Medio Ambiente. Restauración de Ecosistemas Alterados por la Explotación Minera. IICER 2000. Bogotá. Pp: 13.

Correa, A. 2003. La minería a cielo abierto en el contexto del desarrollo y su impacto sobre el medio ambiente. El caso de Colombia, el caso de Bogotá, D.C. Curso Internacional de Restauración Ecológica de Canteras y el Uso de Biosólidos. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Pp: 1-26.

Croau, Y., C. Gisclard & P. Perotti. 2002. The use of *Folsomia candida* (Collembola, Isotomidae) in bioassays of waste. *Applied soil ecology.* 19: 65-70.

Curry, J. 1998. Factors Affecting earthworm abundance in soils. Cap: 3. Pp. 37-64 In: Edwards, C (ed). *Earthworm Ecology.* St. Lucie Press. USA.

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. Bogotá.

Daniel, W. 2004. Bioestadística base para el análisis de las ciencias de la salud. 4a ed. México: Limusa Weley, 755 p.

Emmerling, C. & Paulsch, D. 2001. Improvement of earthworm (*Lumbricidae*) community and activity in mine soils from opencast coal mining by the application of different organic waste materials. *Pedobiologia.* 45: 396–407

Fernández, F., E. Palacio, W. MacKay & E. MacKay. 1996. Introducción al estudio de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Colombia. Cap: X. Pp: 349-362. En: Andrade, M., G. Amat & F. Fernández (eds). *Insectos de Colombia. Estudios ecológicos.* Editorial Guadalupe Ltda. Bogotá.

Fletchmann, C., Tabet, V. & Quintero, I. 2009. Influence of carrion smell and rebaiting time on the efficiency of pitfall traps to dung beetle sampling. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 132: 211–217

Foddai, D., A. Schileyko & A. Minelli. 2002. Chilopoda. Lithobiomorpha. Pp: 475- 478. In: Joachin Adis. Amazonian Arachnida and Myriapoda. Pensoft Publishers. Bulgaria.

Fountain, M. & Hopkin, S. 2004. A comparative study of the effects of metal contamination on Collembola in the field and in the laboratory. *Ecotoxicology*. 13: 573–587.

Gibson, D. 2002. Methods in comparative plan population ecology. Oxford. University Press. USA. Pp: 344.

Granados, A. 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. Trabajo de grado. (Biólogo). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ciencias, carrera de Biología. Bogotá, 144pp.

Guacaneme, S. 2005. Efecto de la aplicación de biosólidos en diferentes proporciones en la recuperación de un suelo disturbado por actividad extractiva. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Ecolología. Pp: 110.

Hamer, K. *et al.*, 2005. Temporal variation in abundance and diversity of butterflies in Bornean rain forests: opposite impacts of logging recorded in different seasons. *Journal of Tropical Ecology*. 21: 417 – 421pp

Hoffman, R., S. Golovatch, J. Adis & J. de Morais. 2002. Diplopoda. Pp: 505-533. in: Joachin Adis. Amazonian Arachnida and Myriapoda. Pensoft Publishers. Bulgaria.

Huttl, R. & Weber, E. 2001. Forest ecosystem development in post-mining landscapes: a case study of the Lusatian lignite district. *Naturwissenschaften* (2001) 88:322–329

IGAC, 2009. Análisis de suelos del area experimental Cantera Soratama. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Kaspari, M., S. O'Donnell, and J. R. Kercher. 2000. Energy, density, and constraints to species richness: ant assemblages along a productivity gradient. *American Naturalist*. 155:280–293.

Kaston, B. 1978. How to know the spiders. Third edition. Mc. Graw Hill. United States of America. Pp: 272.

Kirmer, A., Tischew, S., Ozinga, W., Lampe, M., Baasch, A. & Groenendael, J. 2008. Importance of regional species pools and functional traits in colonization processes: predicting recolonization after large-scale destruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology*. 2008, 45: 1523–1530

Kowaljow, E. & Mazzarino, M. 2007. Soil restoration in semiarid Patagonia: Chemical and biological response to different compost quality. *Soil Biology & Biochemistry* 39 (2007): 1580–1588

Larsen, K., F. Purrington, S. Brewer, & D. Taylor. 1996. Influence of sewage sludge on the ground beetle (Coleoptera: Carabidae) fauna of an old – field community. *Environmental Entomology*. 25 (2): 452-459.

Larsen, K., T. Work & F. Purrington. 2003. Habitat use patterns by ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of northeastern Iowa. *Pedobiologia*. 47: 288-299.

Lawrence, J., A. Hastings, M. Dallwitz, T. Paine & E. Zurcher. 1999. Beetle larvae of the world. A program interactive identification and information retrieval. Division of entomology. Inkley. Version 5.8. edition 1.06. Camberra. Australia.

Locarno, L., Lerma, J., Bellotty, A. & Schoonhoven, A. 2005. STRUCTURE AND COMPOSITION OF THE WHITE GRUB COMPLEX (COLEOPTERA: SCARABAEIDAE) IN AGROECOLOGICAL SYSTEMS OF NORTHERN CAUCA, COLOMBIA. *Florida Entomologist*. 88(4): 355 - 363

Machado, E. 2007. Three new species of Mesabolivar (Aranea, Pholcidae) from leaf litter in urban environments in the city of Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil. IHERINGIA SERIE ZOOLOGIA. 97(2): 168 - 176

Majer, J., Brennan, K. & Moir, M. 2007. Invertebrates and the Restoration of a Forest Ecosystem: 30 Years of Research following Bauxite Mining in Western Australia. Restoration Ecology. 15(4) (Supplement): S104–S115

Magurran, E. 1989. Diversidad ecológica y su medición. Primera Edición. Ediciones Vedra. Barcelona. España. Pp: 200.

McKenzie, D., Hyatt, D. & McDonald, V. 1992. Ecological Indicators. Chapman & Hall, London.

Melo, M. 2007. Trabajo de pasantía. (Biólogo). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C. 105pp

Milgrom, T. 2008. Environmental aspects of rehabilitating abandoned quarries: Israel as a case study. Landscape and urban planning. 87 (2008): 172 - 179

Milton, S. 2001. Estadística para biología y ciencias de la salud. Tercera Edición. Mac Graw Hill. Madrid. Pp. 592.

Minor, M. & Norton, R. 2004. Effects of soil amendments on assemblages of soil mites (Acari: Oribatida, Mesostigmata) in short – rotation willow plantings in central New York. Can. J. For. Res. 34: 1417 –1425.

Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis SEA. Ciencia y tecnología para el desarrollo, Sociedad entomológica Aragonesa & UNESCO. México. Pp. 83.

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. Pontificia Universidad Javeriana. Ecología. Pp: 97.

Oliver, I. & A. Beattie. 1996. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study. *Conservation Biology*. 10: 99- 109.

Ortega, J. 2008. ESTUDIO DE LA ENTOMOFAUNA SUCESIONAL ASOCIADA A LA DESCOMPOSICIÓN DE UN CADÁVER DE CERDO DOMÉSTICO (*Sus scrofa*) EN CONDICIONES DE CAMPO. *Universitas Scientiarum*. 13(1): 21-32

Paoletti, M. 1999. Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74 (1999): 1–18

Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C. & Mozanica, E. 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105 (2005): 323–333

Paschke, M., Topper, K., Brobst, R. & Redente, E. 2005. Long-Term Effects of Biosolids on Revegetation of Disturbed Sagebrush Steppe in Northwestern Colorado. *Restoration Ecology*. 13(3): 545–551

Pinto, D., Storch, G. & Costa, M. 2005. BIOLOGIA DE *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Forficulidae) EM LABORATÓRIO. *REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE AGRONOMIA*. 4(8): 7pp

Ramírez, A. 1999. *Ecología Aplicada: Diseño Análisis Estadístico*. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. pp. 325.

Petersen, S., K. Henriksen, G. Mortensen, P. Krogh, K. Brandt, J. Sorensen, T. Madsen, J. Petersen & C. Gron. 2003. Recycling of sewage sludge and household compost to arable land: fate and effects of organic contaminants, and impact on soil fertility. *Soil & Tillage Research*. 72: 139-152.

Salamanca, B. & G. Camargo. 2002. *Protocolo Distrital de Restauración Ecológica*. DAMA. Bogotá. Pp: 164-170.

Santos, S., Cabanas, J. & Pereira, J. 2007. Abundance and diversity of soil arthropods in olive grove ecosystem (Portugal): Effect of pitfall trap type. *European Journal of Soil Biology* 43 (2007) 77-83

Schileyko, A. Chilopoda. Scolopendromorpha. Pp: 479-500. In: Joachin Adis. Amazonian Arachnida and Myriapoda. Pensoft Publishers. Bulgaria.

Schoeman, A., & R. Jocqué. 1997. A African spiders. An identification Manual. Printed Ultra Litho. South Africa. Pp: 392.

Sever, H. & Makineci, E. 2009. Soil organic carbon and nitrogen accumulation on coal mine spoils reclaimed with maritime pine (*Pinus pinaster* Aiton) in Agacli–Istanbul. *Environ Monit Assess* (2009) 155:273–280

Shochat, E., Stefanov, W., Whitehouse, M. & Faeth, S. 2004. URBANIZATION AND SPIDER DIVERSITY: INFLUENCES OF HUMAN MODIFICATION OF HABITAT STRUCTURE AND PRODUCTIVITY. *Ecological Applications*. 14(1): 268–280

Siemann, E. 1998. Experimental tests of effects of plant productivity and diversity on grassland arthropod diversity. *Ecology*. 79:2057–2070.

Silva, R., Tomazi, M., Pezarico, C., Aquino, A. & Mercante, F. 2007. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. *Pesq. agropec. bras.* Brasília. 42(6): 865-871

Simmonds, S., Majer, J. & Nichols, O. 1994. A comparative study of spider (Araneae) communities of rehabilitated bauxite mines and surrounding forest in the southwest of Western Australia. *Restoration Ecology* 2, 247–260.

Snyder, B. & Hendrix, P. 2008. Current and Potential Roles of Soil Macroinvertebrates (Earthworms, Millipedes, and Isopods) in Ecological Restoration. *Restoration Ecology*. 16(4): 629–636

Sort, X., & M. Alcañiz. 1996. Contribution of sewage sludge to erosion control in the rehabilitation of limestone quarries. *Land Degradation & Development*. 7: 69-76.

Šourková, M., Frouz, J. & Šantrucková, H. 2005. Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, near Sokolov (Czech Republic). *Geoderma*.124: 203–214

Spellerberg, I.1993. *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

Stuczynski, T., Siebielec, G., Daniels, W., McCarty, G. & Chaney, R. 2007. Biological aspects of metal waste reclamation with biosolids. *J Environ Qual*. 36:1154-1162

Sutherland, W. 1996. *Ecological census handbook*. Cambridge University Press. Great Britain. Pp: 336.

Swift, M. & Bignell, E. 2001. Standard methods for assessment of soil biodiversity and land use practice. International Centre for Research in Agroforestry Southeast Asian Regional Research Programme. Pp: 36.

Tylianakis, J, Didham, R., Bascompte, J. & Wardle, D, 2008. Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 11: 1351–1363

Vadillo, L. 1991. Problemas Específicos de Industrias Sometidas a E.I.A: Minería a Cielo Abierto. Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales. Madrid. España.

Varela, A. Cortés, C. & Cotes, C. 2007. Cambios en edafofauna asociada a descomposición de hojarasca en un bosque nublado. *Rev. Colomb. Entomol*. 33(1):

Waele, J. 2009. Evaluating disturbance on mediterranean karst areas: the example of Sardinia (Italy). *Environ Geol* (2009) 58:239–255

Wang, S., Ruan, H. & Wang, B. 2009. Effects of soil microarthropods on plant litter decomposition across an elevation gradient in the Wuyi Mountains. *Soil Biology and Biochemistry*. 41(5): 891-897pp.

Willett T. R. (2001) Spiders and other arthropods as indicators in old-growth versus logged redwood stands. *Restoration Ecology* 9, 410–420.

Yeoh, B. & Lee, C. 2007. Soil arthropods associated with termite bait monitoring stations litter in Malaysia. *SOCIOBIOLOGY*. 49(3): 187 - 196

Zeppelini, D., Bellini, B., Duarte, A. & Hernández, M. 2009. Collembola as bioindicators of restoration in mined sand dunes of Northeastern Brazil. *Biodivers Conserv* (2009) 18:1161–1170

10. Anexos

Anexo 1. Listado taxonómico entrega a entomología:

| Nº Caja | Orden | Familia | Morfo | Estado | Nº Individuos | Cantidad frascos |
|---------|------------|--------------|-------|--------|---------------|------------------|
| 1 | Oligoqueta | Lumbricidae | Lu 1 | Adulto | 17 | 8 |
| 1 | Oligoqueta | Lumbricidae | Lu 2 | Adulto | 16 | 7 |
| 1 | Oligoqueta | Lumbricidae | Lu 3 | Adulto | 14 | 7 |
| 1 | Oligoqueta | Lumbricidae | Lu 4 | Adulto | 15 | 10 |
| 2 | Oligoqueta | Lumbricidae | Lu 5 | Adulto | 6 | 5 |
| 2 | Oligoqueta | Lumbricidae | Lu 6 | Adulto | 13 | 7 |
| 2 | Oligoqueta | Lumbricidae | Lu 7 | Adulto | 8 | 4 |
| 2 | Oligoqueta | Lumbricidae | Lu 8 | Adulto | 5 | 2 |
| 2 | Oligoqueta | Encytraeidae | E 2 | Adulto | 94 | 9 |
| 3 | Coleoptera | Scarabeidae | C 19 | Adulto | 2 | 2 |
| 3 | Coleoptera | Scarabeidae | C 22 | Adulto | 1 | 1 |
| 3 | Coleoptera | Scarabeidae | LC 10 | Larva | 4 | 4 |
| 3 | Coleoptera | Scarabeidae | LC 11 | Larva | 2 | 2 |
| 3 | Coleoptera | Scarabeidae | LC 12 | Larva | 6 | 6 |
| 3 | Coleoptera | Scarabeidae | LC 13 | Larva | 7 | 5 |
| 3 | Coleoptera | Scarabeidae | LC 14 | Larva | 6 | 5 |
| 3 | Coleoptera | Scarabeidae | LC 15 | Larva | 3 | 3 |

| | | | | | | |
|---|----------------|-----------------|-------|--------|----|---|
| 3 | Coleoptera | Scarabeidae | LC 8 | Larva | 4 | 3 |
| 4 | Coleoptera | Scarabeidae | LC 9 | Larva | 4 | 4 |
| 4 | Coleoptera | Býrrhidae | C 31 | Adulto | 1 | 1 |
| 4 | Coleoptera | Carabidae | C 12 | Adulto | 5 | 5 |
| 4 | Coleoptera | Carabidae | C 18 | Adulto | 4 | 4 |
| 4 | Coleoptera | Carabidae | C 32 | Adulto | 1 | 1 |
| 4 | Coleoptera | Scolýtidae | C 30 | Adulto | 2 | 2 |
| 4 | Coleoptera | Staphylinidae | C 28 | Adulto | 12 | 6 |
| 4 | Coleoptera | Staphylinidae | LC 16 | Larva | 1 | 1 |
| 4 | Coleoptera | Staphylinidae | LC 17 | Larva | 4 | 4 |
| 4 | Coleoptera | Staphylinidae | LC 18 | Larva | 3 | 3 |
| 4 | Coleoptera | Staphylinidae | LC 19 | Larva | 4 | 4 |
| 5 | Collembola | Entomobryidae | CL 1 | Adulto | 2 | 2 |
| 5 | Dermaptera | Labiidae | De 4 | Adulto | 1 | 1 |
| 5 | Hemíptera | Cicadellidae | LHo 6 | Larva | 1 | 1 |
| 5 | Hymenoptera | Formicidae | Hy 5 | Adulto | 1 | 1 |
| 5 | Lepidoptera | Indeterminado | LL 8 | Larva | 1 | 1 |
| 5 | Lithobiomorpha | Henicopidae | Ch 3 | Adulto | 1 | 1 |
| 5 | Lithobiomorpha | Henicopidae | Ch 4 | Adulto | 1 | 1 |
| 5 | Malacostraca | Porcellionidae | Is 1 | Adulto | 1 | 1 |
| 5 | Spirostreptida | Spirostreptidae | D 3 | Adulto | 3 | 3 |
| 5 | Spirostreptida | Spirostreptidae | D 4 | Adulto | 2 | 1 |

Anexo 2. Convenciones usadas y clase de etiquetas a encontrar por frasco:

- Etiquetas para apiques:

| |
|---|
| Etiqueta Interna (1) |
| Colombia, Cundinamarca. Cantera Soratama. Altitud sobre el nivel del mar. Fecha colecta. Tratamiento. Colector. |

| |
|---|
| Etiqueta Interna (2) |
| Orden. Familia. Fecha de determinación. Código: (A(x)T(x)P(x)(#-#). Persona que determinó. Morfotipo. |

| |
|----------------------|
| Etiqueta Interna (3) |
| A - # |

T: Tratamiento

P: Parcela

A: Apique

(#-#): Profundidad en cm, que puede ser de 0 – 15, ó 15 – 30cm

A - #: Código del frasco

Anexo 3. Base de datos con los individuos colectados en el método pitfall

| Código | Método | Tratamiento | Parcela | Clase | Orden | Familia | Estado | Morfotipo | No. Individuos | Código frasco |
|----------|---------|-------------|---------|-----------|---------------|----------------|--------|-----------|----------------|---------------|
| Pit1CP4 | Pitfall | C | P4 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | 2 | A - 1297 |
| Pit4CP4 | Pitfall | C | P4 | Insecta | Coleoptera | Scarabaeidae | | C 22 | 1 | A - 1298 |
| Pit4CP4 | Pitfall | C | P4 | Arachnida | Aranea | Thomisidae | | Ar 23 | 1 | A - 1299 |
| Pit5CP4 | Pitfall | C | P4 | | | | | | 0 | A - 1300 |
| Pit2CP4 | Pitfall | C | P4 | Insecta | Diptera | | | Di 1 | 1 | A - 1301 |
| Pit3CP4 | Pitfall | C | P4 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1302 |
| Pit1CP7 | Pitfall | C | P7 | Insecta | Diptera | | | Di 1 | 1 | A - 1303 |
| Pit2CP7 | Pitfall | C | P7 | Insecta | Diptera | | | Di 3 | 1 | A - 1304 |
| Pit2CP7 | Pitfall | C | P7 | Insecta | Diptera | | | Di 2 | 1 | A - 1305 |
| Pit2CP7 | Pitfall | C | P7 | Insecta | Hymenoptera | Pompilidae | | Hy 2 | 1 | A - 1306 |
| Pit2CP7 | Pitfall | C | P7 | Arachnida | Aranea | Theridiidae | | Ar 25 | 1 | A - 1307 |
| Pit3CP7 | Pitfall | C | P7 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | Exuvia | Ar 24 | 1 | A - 1308 |
| Pit3CP7 | Pitfall | C | P7 | Insecta | Hymenoptera | Sphecidae | | Hy 3 | 1 | A - 1309 |
| Pit4CP7 | Pitfall | C | P7 | | | | | | 0 | A - 1310 |
| Pit5CP7 | Pitfall | C | P7 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1311 |
| Pit5CP7 | Pitfall | C | P7 | Insecta | Diptera | | | Di 1 | 1 | A - 1312 |
| Pit5CP7 | Pitfall | C | P7 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 28 | 1 | A - 1313 |
| Pit5CP7 | Pitfall | C | P7 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | 1 | A - 1314 |
| Pit1CP11 | Pitfall | C | P11 | Insecta | Hemiptera | Cicadellidae | | Ho 5 | 1 | A - 1315 |
| Pit1CP11 | Pitfall | C | P11 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C20 | 1 | A - 1316 |
| Pit1CP11 | Pitfall | C | P11 | Insecta | Orthoptera | Acridiidae | | Or 1 | 1 | A - 1317 |
| Pit2CP11 | Pitfall | C | P11 | Insecta | Hemiptera | Cicadellidae | | Ho 6 | 1 | A - 1318 |
| Pit2CP11 | Pitfall | C | P11 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | Exuvia | Ar 24 | 1 | A - 1319 |
| Pit2CP11 | Pitfall | C | P11 | Insecta | Orthoptera | Acridiidae | | Or 2 | 1 | A - 1320 |
| Pit2CP11 | Pitfall | C | P11 | Insecta | Hemiptera | Miridae | | Ho 7 | 2 | A - 1321 |
| Pit3CP11 | Pitfall | C | P11 | | | | | | 0 | A - 1322 |
| Pit4CP11 | Pitfall | C | P11 | Insecta | Diptera | | | Di 4 | 1 | A - 1323 |
| Pit5CP11 | Pitfall | C | P11 | Insecta | Diptera | | | Di 3 | 1 | A - 1324 |
| Pit5CP11 | Pitfall | C | P11 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 4 | A - 1325 |
| Pit5CP11 | Pitfall | C | P11 | Insecta | Hemiptera | Cicadellidae | | Ho 6 | 1 | A - 1326 |
| Pit5CP11 | Pitfall | C | P11 | Insecta | Hymenoptera | Chalcididae | | Hy 4 | 1 | A - 1327 |
| Pit1T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C12 | 1 | A - 1328 |
| Pit1T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1329 |
| Pit2T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 18 | 1 | A - 1330 |
| Pit2T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Diptera | | | Di 4 | 1 | A - 1331 |
| Pit2T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1332 |
| Pit3T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Orthoptera | Acridiidae | | Or 3 | 1 | A - 1333 |
| Pit3T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 19 | 1 | A - 1334 |
| Pit3T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Diptera | | Larva | LD 1 | 1 | A - 1335 |
| Pit3T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Diptera | | | Di 5 | 2 | A - 1336 |
| Pit3T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Diptera | | | Di 4 | 1 | A - 1337 |
| Pit3T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Hemiptera | Cicadellidae | | Ho 10 | 1 | A - 1338 |
| Pit3T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | A - 1339 |
| Pit3T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | Exuvia | Ar 24 | 1 | A - 1340 |
| Pit4T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 19 | 1 | A - 1341 |
| Pit4T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | A - 1342 |
| Pit4T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1343 |
| Pit5T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Orthoptera | Acridiidae | | Or 3 | 1 | A - 1344 |
| Pit5T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 3 | A - 1345 |
| Pit5T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 2 | A - 1346 |
| Pit5T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Diptera | | | Di 2 | 1 | A - 1347 |
| Pit5T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Hymenoptera | Sphecidae | | Hy 3 | 1 | A - 1348 |
| Pit5T1P2 | Pitfall | T1 | P2 | Insecta | Microcoryphia | Meinertellidae | | My 1 | 1 | A - 1349 |
| Pit1T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Insecta | Orthoptera | Acridiidae | | Or 3 | 1 | A - 1350 |
| Pit1T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Insecta | Diptera | | | Di 1 | 1 | A - 1351 |
| Pit1T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 18 | 1 | A - 1352 |
| Pit2T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Insecta | Hemiptera | Cicadellidae | | Ho 5 | 1 | A - 1353 |
| Pit2T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Insecta | Coleoptera | Dytiscidae | | C 21 | 1 | A - 1354 |
| Pit3T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | 2 | A - 1355 |
| Pit3T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Insecta | Hemiptera | Cicadellidae | | Ho 5 | 1 | A - 1356 |
| Pit3T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Insecta | Orthoptera | Tettigoniidae | | Or 4 | 1 | A - 1357 |
| Pit3T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Insecta | Microcoryphia | Meinertellidae | | My 1 | 1 | A - 1358 |
| Pit4T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1359 |
| Pit4T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Arachnida | Opiliona | | | Op 1 | 2 | A - 1360 |
| Pit5T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1361 |
| Pit5T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Arachnida | Opiliona | | | Op 1 | 1 | A - 1362 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|---------|----|-----|-----------|--------------|----------------|--|-------|----|----------|
| Pit5T1P8 | Pitfall | T1 | P8 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 18 | 1 | A - 1363 |
| Pit1T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 13 | A - 1364 |
| Pit1T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 1 | A - 1365 |
| Pit1T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 3 | A - 1366 |
| Pit1T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | | C 22 | 1 | A - 1367 |
| Pit1T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Insecta | Hemiptera | Cicadellidae | | Ho 8 | 1 | A - 1368 |
| Pit1T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Insecta | Hemiptera | Cicadellidae | | Ho 9 | 1 | A - 1369 |
| Pit2T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 18 | 3 | A - 1370 |
| Pit2T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Insecta | Orthoptera | Acridiidae | | Or 3 | 1 | A - 1371 |
| Pit3T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1372 |
| Pit3T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Arachnida | Opilionida | | | Op 2 | 1 | A - 1373 |
| Pit4T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 2 | A - 1374 |
| Pit4T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Insecta | Diptera | | | Di 5 | 2 | A - 1375 |
| Pit4T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | A - 1376 |
| Pit4T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Insecta | Diptera | | | Di 6 | 1 | A - 1377 |
| Pit5T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1378 |
| Pit5T1P12 | Pitfall | T1 | P12 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 1 | A - 1379 |
| Pit1T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 23 | 1 | A - 1380 |
| Pit1T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 3 | A - 1381 |
| Pit2T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 1 | A - 1382 |
| Pit2T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1383 |
| Pit2T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | A - 1384 |
| Pit3T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1385 |
| Pit3T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 28 | 1 | A - 1386 |
| Pit3T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Arachnida | Diptera | | | Di 3 | 1 | A - 1387 |
| Pit3T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Insecta | Hemiptera | Cicadellidae | | Ho 6 | 1 | A - 1388 |
| Pit3T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Arachnida | Diptera | | | Di 5 | 1 | A - 1389 |
| Pit3T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 1 | A - 1390 |
| Pit3T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Insecta | Dermaptera | Forficulidae | | De 3 | 1 | A - 1391 |
| Pit4T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1392 |
| Pit4T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | A - 1393 |
| Pit5T2P3 | Pitfall | T2 | P3 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 2 | A - 1394 |
| Pit1T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Diptera | | | Di 1 | 2 | A - 1395 |
| Pit1T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 3 | A - 1396 |
| Pit1T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Diptera | | | Di 8 | 1 | A - 1397 |
| Pit1T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Diptera | | | Di 7 | 1 | A - 1398 |
| Pit1T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Diptera | | | Di 3 | 1 | A - 1399 |
| Pit1T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 18 | 1 | A - 1400 |
| Pit1T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 2 | A - 1401 |
| Pit1T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 2 | A - 1402 |
| Pit2T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | A - 1403 |
| Pit2T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1404 |
| Pit2T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 1 | A - 1405 |
| Pit2T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Curculionidae | | C 24 | 1 | A - 1406 |
| Pit2T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Diptera | | | Di 9 | 2 | A - 1407 |
| Pit2T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | 1 | A - 1408 |
| Pit2T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Diptera | | | Di 3 | 2 | A - 1409 |
| Pit3T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Diptera | | | Di 1 | 1 | A - 1410 |
| Pit3T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Diptera | | | Di 3 | 1 | A - 1411 |
| Pit3T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | | C 22 | 1 | A - 1412 |
| Pit3T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 1 | A - 1413 |
| Pit3T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 2 | A - 1414 |
| Pit4T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Hemiptera | Cicadellidae | | Ho 5 | 1 | A - 1415 |
| Pit4T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Orthoptera | Acridiidae | | Or 3 | 1 | A - 1416 |
| Pit4T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Orthoptera | Acridiidae | | Or 5 | 1 | A - 1417 |
| Pit4T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 26 | 1 | A - 1418 |
| Pit4T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1419 |
| Pit5T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 3 | A - 1420 |
| Pit5T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 1 | A - 1421 |
| Pit5T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Diptera | | | Di 1 | 1 | A - 1422 |
| Pit5T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Diptera | | | Di 10 | 1 | A - 1423 |
| Pit5T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Diptera | | | Di 5 | 1 | A - 1424 |
| Pit5T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | A - 1425 |
| Pit5T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Diptera | | | Di 3 | 1 | A - 1426 |
| Pit5T2P6 | Pitfall | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Curculionidae | | C24 | 1 | A - 1427 |
| Pit1T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Insecta | Diptera | | | Di 2 | 1 | A - 1428 |
| Pit1T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 3 | A - 1429 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|---------|----|-----|-----------|----------------|-----------------|--------|-------|----|----------|
| Pit2T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 2 | A - 1430 |
| Pit2T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 2 | A - 1431 |
| Pit2T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Insecta | Diptera | | | Di 2 | 12 | A - 1432 |
| Pit3T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | A - 1433 |
| Pit3T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Insecta | Diptera | | | Di 6 | 1 | A - 1434 |
| Pit3T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1435 |
| Pit3T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Insecta | Diptera | | | Di 2 | 2 | A - 1436 |
| Pit4T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | A - 1437 |
| Pit4T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Insecta | Diptera | | | Di 5 | 1 | A - 1438 |
| Pit4T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 2 | A - 1439 |
| Pit4T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Insecta | Diptera | | | Di 2 | 1 | A - 1440 |
| Pit5T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Insecta | Hymenoptera | Formicidae | | Hy 5 | 1 | A - 1441 |
| Pit5T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1442 |
| Pit5T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 1 | A - 1443 |
| Pit5T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Insecta | Hymenoptera | Megachilidae | | Hy 6 | 1 | A - 1444 |
| Pit5T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Insecta | Diptera | | | Di 5 | 1 | A - 1445 |
| Pit5T2P10 | Pitfall | T2 | P10 | Insecta | Coleoptera | Curculionidae | | C 24 | 1 | A - 1446 |
| Pit1T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 2 | A - 1447 |
| Pit1T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Scarabaeidae | | C 22 | 1 | A - 1448 |
| Pit1T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Hymenoptera | Ichneumonidae | | Hy 7 | 1 | A - 1449 |
| Pit1T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 3 | A - 1450 |
| Pit1T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Diptera | | | Di 1 | 1 | A - 1451 |
| Pit1T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Diptera | | | Di 3 | 1 | A - 1452 |
| Pit2T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | 2 | A - 1453 |
| Pit2T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Diplopoda | Spirostreptida | Spirostreptidae | | D 3 | 2 | A - 1454 |
| Pit2T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 19 | 2 | A - 1455 |
| Pit2T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 23 | 1 | A - 1456 |
| Pit2T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 27 | 1 | A - 1457 |
| Pit2T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 3 | A - 1458 |
| Pit2T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Diptera | | | Di 10 | 2 | A - 1459 |
| Pit2T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Diplopoda | Spirostreptida | Spirostreptidae | | D 3 | 2 | A - 1460 |
| Pit3T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 28 | 1 | A - 1461 |
| Pit4T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 28 | 1 | A - 1462 |
| Pit4T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | 1 | A - 1463 |
| Pit4T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Arachnida | Opilionida | | Exuvia | Op 1 | 1 | A - 1464 |
| Pit4T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Diptera | | | Di 3 | 1 | A - 1465 |
| Pit4T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Collembola | Entomobryidae | | CL 1 | 1 | A - 1466 |
| Pit5T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 18 | 1 | A - 1467 |
| Pit5T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 4 | A - 1468 |
| Pit5T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Dermaptera | Forficulidae | | De 3 | 1 | A - 1469 |
| Pit5T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 7 | A - 1470 |
| Pit5T3P1 | Pitfall | T3 | P1 | Insecta | Collembola | Entomobryidae | | CL 1 | 1 | A - 1471 |
| Pit1T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | A - 1472 |
| Pit1T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Insecta | Diptera | | | Di 2 | 1 | A - 1473 |
| Pit2T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 2 | A - 1474 |
| Pit2T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 2 | A - 1475 |
| Pit2T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | A - 1476 |
| Pit3T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Insecta | Coleoptera | Scarabaeidae | | C 22 | 2 | A - 1477 |
| Pit3T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1478 |
| Pit3T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Arachnida | Opilionida | | | Op 1 | 1 | A - 1479 |
| Pit3T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 19 | 1 | A - 1480 |
| Pit3T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Insecta | Diptera | | | Di 1 | 2 | A - 1481 |
| Pit4T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | 1 | A - 1482 |
| Pit4T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Insecta | Microcoryphia | Meinertellidae | | My 1 | 1 | A - 1483 |
| Pit4T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 2 | A - 1484 |
| Pit4T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | A - 1485 |
| Pit5T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Insecta | Dermaptera | Forficulidae | | De 3 | 1 | A - 1486 |
| Pit5T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Insecta | Diptera | | | Di 3 | 1 | A - 1487 |
| Pit5T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1488 |
| Pit5T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Insecta | Hemiptera | Cicadellidae | | Ho 5 | 1 | A - 1489 |
| Pit5T3P5 | Pitfall | T3 | P5 | Insecta | Microcoryphia | Meinertellidae | | My 1 | 1 | A - 1490 |
| Pit1T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Insecta | Diptera | | | Di 10 | 1 | A - 1491 |
| Pit2T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 1 | A - 1492 |
| Pit2T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Arachnida | Aranea | Lycosidae | | Ar 24 | 2 | A - 1493 |
| Pit2T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | 1 | A - 1494 |
| Pit2T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 19 | 1 | A - 1495 |
| Pit2T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Insecta | Dermaptera | Forficulidae | | De 3 | 1 | A - 1496 |

| | | | | | | | | | | |
|----------|---------|----|----|-----------|------------|---------------|--|------|---|----------|
| Pit3T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Insecta | Coleoptera | Curculionidae | | C 24 | 1 | A - 1497 |
| Pit4T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Insecta | Diptera | | | Di 3 | 1 | A - 1498 |
| Pit4T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | | C 22 | 1 | A - 1499 |
| Pit4T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Arachnida | Opiliona | | | Op 1 | 2 | A - 1500 |
| Pit5T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Arachnida | Opiliona | | | Op 1 | 1 | A - 1501 |
| Pit5T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Insecta | Hemiptera | Cicadellidae | | Ho 5 | 1 | A - 1502 |
| Pit5T3P9 | Pitfall | T3 | P9 | Insecta | Diptera | | | Di 2 | 1 | A - 1503 |

Anexo 4. Base de datos con los individuos colectados en el método apiques

| Código | Método | Profundidad | Tratamiento | Parcela | Clase | Orden | Familia | Otro | Morfotipo | No. Individuos | Apique No. | Código frasco |
|---------|---------|-------------|-------------|---------|------------|----------------|-----------------|-------|-----------|----------------|------------|---------------|
| A1T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 1 | 1 | 1 | A - 1504 |
| A1T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 2 | 1 | 1 | A - 1505 |
| A1T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 8 | 1 | 1 | A - 1506 |
| A1T2P6 | Apiques | 15-30 | T2 | P6 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 1 | 1 | 1 | A - 1507 |
| A1T2P6 | Apiques | 15-30 | T2 | P6 | Clitellata | Haplotaxida | Enchytraeidae | | E 2 | 1 | 1 | A - 1508 |
| A2T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 9 | 1 | 2 | A - 1509 |
| A2T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 10 | 1 | 2 | A - 1510 |
| A2T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | Larva | LC 17 | 1 | 2 | A - 1511 |
| A2T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 3 | 1 | 2 | A - 1512 |
| A2T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 4 | 1 | 2 | A - 1513 |
| A2T2P6 | Apiques | 15-30 | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 8 | 1 | 2 | A - 1514 |
| A3T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 11 | 1 | 3 | A - 1515 |
| A3T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | Larva | LC 16 | 1 | 3 | A - 1516 |
| A3T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | 1 | 3 | A - 1517 |
| A3T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 4 | 3 | 3 | A - 1518 |
| A3T2P6 | Apiques | 0-15 | T2 | P6 | Diplopoda | Spirostreptida | Spirostreptidae | | D 3 | 1 | 3 | A - 1519 |
| A3T2P6 | Apiques | 15-30 | T2 | P6 | Insecta | Coleoptera | Scolytidae | | C 30 | 1 | 3 | A - 1520 |
| A1T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 9 | 1 | 1 | A - 1521 |
| A1T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 9 | 1 | 1 | A - 1522 |
| A1T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 5 | 1 | 1 | A - 1523 |
| A1T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 6 | 6 | 1 | A - 1524 |
| A1T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 7 | 3 | 1 | A - 1525 |
| A1T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 2 | 3 | 1 | A - 1526 |
| A1T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 1 | 1 | 1 | A - 1527 |
| A1T2P10 | Apiques | 15-30 | T2 | P10 | | | | | | 0 | 1 | A - 1528 |
| A2T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Isopoda | Malacostraca | Porcellionidae | | Is 1 | 1 | 2 | A - 1529 |
| A2T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 5 | 1 | 2 | A - 1530 |
| A2T2P10 | Apiques | 15-30 | T2 | P10 | | | | | | 0 | 2 | A - 1531 |
| A3T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 10 | 1 | 3 | A - 1532 |
| A3T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 12 | 1 | 3 | A - 1533 |
| A3T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 12 | 1 | 3 | A - 1534 |
| A3T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 4 | 1 | 3 | A - 1535 |
| A3T2P10 | Apiques | 0-15 | T2 | P10 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 6 | 1 | 3 | A - 1536 |
| A3T2P10 | Apiques | 15-30 | T2 | P10 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 12 | 1 | 3 | A - 1537 |
| A3T2P10 | Apiques | 15-30 | T2 | P10 | Clitellata | Haplotaxida | Enchytraeidae | | E 2 | 1 | 3 | A - 1538 |
| A1T2P3 | Apiques | 0-15 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 1 | 4 | 1 | A - 1539 |
| A1T2P3 | Apiques | 0-15 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 8 | 3 | 1 | A - 1540 |
| A1T2P3 | Apiques | 0-15 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 3 | 7 | 1 | A - 1541 |
| A1T2P3 | Apiques | 0-15 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Enchytraeidae | | E2 | 23 | 1 | A - 1542 |
| A1T2P3 | Apiques | 0-15 | T2 | P3 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | Larva | LC 17 | 1 | 1 | A - 1543 |
| A1T2P3 | Apiques | 15-30 | T2 | P3 | | | | | | 0 | 1 | A - 1544 |
| A2T2P3 | Apiques | 0-15 | T2 | P3 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | 1 | 2 | A - 1545 |
| A2T2P3 | Apiques | 0-15 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 4 | 1 | 2 | A - 1546 |
| A2T2P3 | Apiques | 0-15 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 5 | 1 | 2 | A - 1547 |
| A2T2P3 | Apiques | 0-15 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 3 | 1 | 2 | A - 1548 |
| A2T2P3 | Apiques | 15-30 | T2 | P3 | | | | | | 0 | 2 | A - 1549 |
| A3T2P3 | Apiques | 0-15 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 2 | 2 | 3 | A - 1550 |
| A3T2P3 | Apiques | 0-15 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 4 | 2 | 3 | A - 1551 |
| A3T2P3 | Apiques | 0-15 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 5 | 2 | 3 | A - 1552 |
| A3T2P3 | Apiques | 15-30 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 3 | 1 | 3 | A - 1553 |
| A3T2P3 | Apiques | 15-30 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 6 | 1 | 3 | A - 1554 |
| A3T2P3 | Apiques | 15-30 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 1 | 4 | 3 | A - 1555 |
| A3T2P3 | Apiques | 15-30 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 2 | 1 | 3 | A - 1556 |
| A3T2P3 | Apiques | 15-30 | T2 | P3 | Clitellata | Haplotaxida | Enchytraeidae | | E2 | 14 | 3 | A - 1557 |
| A3T2P3 | Apiques | 15-30 | T2 | P3 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 28 | 1 | 3 | A - 1558 |
| A1CP4 | Apiques | 0-15 | C | P4 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 28 | 3 | 1 | A - 1559 |
| A1CP4 | Apiques | 0-15 | C | P4 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 13 | 1 | 1 | A - 1560 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------|-------|----|-----|------------|-------------|---------------|-------|-------------|--|----|---|----------|
| A1CP4 | Apiques | 15-30 | C | P4 | | | | | | | 0 | 1 | A - 1561 |
| A2CP4 | Apiques | 0-15 | C | P4 | | | | | | | 0 | 2 | A - 1562 |
| A2CP4 | Apiques | 15-30 | C | P4 | | | | | | | 0 | 2 | A - 1563 |
| A3CP4 | Apiques | 0-15 | C | P4 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 14 | | 1 | 3 | A - 1564 |
| A3CP4 | Apiques | 15-30 | C | P4 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 28 (lost) | | 1 | 3 | A - 1565 |
| A1CP7 | Apiques | 0-15 | C | P7 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 28 | | 2 | 1 | A - 1566 |
| A1CP7 | Apiques | 0-15 | C | P7 | Insecta | Coleoptera | Byrrhidae | | C 31 | | 1 | 1 | A - 1567 |
| A1CP7 | Apiques | 15-30 | C | P7 | | | | | | | 0 | 1 | A - 1568 |
| A2CP7 | Apiques | 0-15 | C | P7 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 28 | | 1 | 2 | A - 1569 |
| A2CP7 | Apiques | 15-30 | C | P7 | | | | | | | 0 | 2 | A - 1570 |
| A3CP7 | Apiques | 0-15 | C | P7 | | | | | | | 0 | 3 | A - 1571 |
| A3CP7 | Apiques | 15-30 | C | P7 | | | | | | | 0 | 3 | A - 1572 |
| A1CP11 | Apiques | 0-15 | C | P11 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 8 | | 2 | 1 | A - 1573 |
| A1CP11 | Apiques | 15-30 | C | P11 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 18 | | 1 | 1 | A - 1574 |
| A2CP11 | Apiques | 0-15 | C | P11 | | | | | | | 0 | 2 | A - 1575 |
| A2CP11 | Apiques | 15-30 | C | P11 | | | | | | | 0 | 2 | A - 1576 |
| A3CP11 | Apiques | 0-15 | C | P11 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 12 | | 1 | 3 | A - 1577 |
| A3CP11 | Apiques | 0-15 | C | P11 | Insecta | Collembola | Entomobryidae | | CL 1 | | 1 | 3 | A - 1578 |
| A3CP11 | Apiques | 15-30 | C | P11 | | | | | | | 0 | 3 | A - 1579 |
| A1T1P12 | Apiques | 0-15 | T1 | P12 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 14 | | 1 | 1 | A - 1580 |
| A1T1P12 | Apiques | 0-15 | T1 | P12 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 28 | | 1 | 1 | A - 1581 |
| A1T1P12 | Apiques | 15-30 | T1 | P12 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 13 | | 1 | 1 | A - 1582 |
| A2T1P12 | Apiques | 0-15 | T1 | P12 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 12 | | 1 | 2 | A - 1583 |
| A2T1P12 | Apiques | 15-30 | T1 | P12 | | | | | | | 0 | 2 | A - 1584 |
| A3T1P12 | Apiques | 0-15 | T1 | P12 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 14 | | 1 | 3 | A - 1585 |
| A3T1P12 | Apiques | 0-15 | T1 | P12 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 5 | | 1 | 3 | A - 1586 |
| A3T1P12 | Apiques | 0-15 | T1 | P12 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 7 | | 2 | 3 | A - 1587 |
| A3T1P12 | Apiques | 0-15 | T1 | P12 | Clitellata | Coleoptera | Staphylinidae | Larva | LC 18 | | 1 | 3 | A - 1588 |
| A3T1P12 | Apiques | 15-30 | T1 | P12 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 13 | | 1 | 3 | A - 1589 |
| A1T1P8 | Apiques | 0-15 | T1 | P8 | Insecta | Coleoptera | Scolytidae | | C 30 | | 1 | 1 | A - 1590 |
| A1T1P8 | Apiques | 0-15 | T1 | P8 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | | C 28 | | 4 | 1 | A - 1591 |
| A1T1P8 | Apiques | 0-15 | T1 | P8 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | | 1 | 1 | A - 1592 |
| A1T1P8 | Apiques | 15-30 | T1 | P8 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 15 | | 1 | 1 | A - 1593 |
| A2T1P8 | Apiques | 0-15 | T1 | P8 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 12 | | 1 | 2 | A - 1594 |
| A2T1P8 | Apiques | 0-15 | T1 | P8 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 8 | | 2 | 2 | A - 1595 |
| A2T1P8 | Apiques | 0-15 | T1 | P8 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 7 | | 2 | 2 | A - 1596 |
| A2T1P8 | Apiques | 15-30 | T1 | P8 | | | | | | | 0 | 2 | A - 1597 |
| A3T1P8 | Apiques | 0-15 | T1 | P8 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | | 1 | 3 | A - 1598 |
| A3T1P8 | Apiques | 0-15 | T1 | P8 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 2 | | 3 | 3 | A - 1599 |
| A3T1P8 | Apiques | 15-30 | T1 | P8 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 13 | | 3 | 3 | A - 1600 |
| A3T1P8 | Apiques | 15-30 | T1 | P8 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | | C 19 | | 1 | 3 | A - 1601 |
| A1T1P2 | Apiques | 0-15 | T1 | P2 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 4 | | 1 | 1 | A - 1602 |
| A1T1P2 | Apiques | 0-15 | T1 | P2 | Clitellata | Haplotaxida | Enchytraeidae | | E 2 | | 5 | 1 | A - 1603 |
| A1T1P2 | Apiques | 0-15 | T1 | P2 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | Larva | LC 19 | | 1 | 1 | A - 1604 |
| A1T1P2 | Apiques | 15-30 | T1 | P2 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 32 | | 1 | 1 | A - 1605 |
| A1T1P2 | Apiques | 15-30 | T1 | P2 | Insecta | Hymenoptera | Formicidae | | Hy 5 | | 1 | 1 | A - 1606 |
| A2T1P2 | Apiques | 0-15 | T1 | P2 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 15 | | 1 | 2 | A - 1607 |
| A2T1P2 | Apiques | 15-30 | T1 | P2 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 9 | | 1 | 2 | A - 1608 |
| A3T1P2 | Apiques | 0-15 | T1 | P2 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 10 | | 1 | 3 | A - 1609 |
| A3T1P2 | Apiques | 0-15 | T1 | P2 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 13 | | 1 | 3 | A - 1610 |
| A3T1P2 | Apiques | 0-15 | T1 | P2 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 6 | | 1 | 3 | A - 1611 |
| A3T1P2 | Apiques | 15-30 | T1 | P2 | | | | | | | 0 | 3 | A - 1612 |
| A1T3P1 | Apiques | 0-15 | T3 | P1 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 1 | | 4 | 1 | A - 1613 |
| A1T3P1 | Apiques | 0-15 | T3 | P1 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 3 | | 1 | 1 | A - 1614 |
| A1T3P1 | Apiques | 0-15 | T3 | P1 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 4 | | 3 | 1 | A - 1615 |
| A1T3P1 | Apiques | 0-15 | T3 | P1 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 6 | | 2 | 1 | A - 1616 |
| A1T3P1 | Apiques | 0-15 | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | Larva | LC 18 | | 1 | 1 | A - 1617 |
| A1T3P1 | Apiques | 0-15 | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | Larva | LC 19 | | 1 | 1 | A - 1618 |
| A1T3P1 | Apiques | 0-15 | T3 | P1 | Clitellata | Haplotaxida | Enchytraeidae | | E 2 | | 28 | 1 | A - 1619 |
| A1T3P1 | Apiques | 15-30 | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 14 | | 1 | 1 | A - 1620 |
| A1T3P1 | Apiques | 15-30 | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 18 | | 1 | 1 | A - 1621 |
| A2T3P1 | Apiques | 0-15 | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | Larva | LC 17 | | 1 | 2 | A - 1622 |
| A2T3P1 | Apiques | 15-30 | T3 | P1 | Clitellata | Haplotaxida | Enchytraeidae | | E 2 | | 1 | 2 | A - 1623 |
| A3T3P1 | Apiques | 0-15 | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | Larva | LC 17 | | 1 | 3 | A - 1624 |
| A3T3P1 | Apiques | 15-30 | T3 | P1 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | | C 22 | | 1 | 3 | A - 1625 |
| A1T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 18 | | 1 | 1 | A - 1626 |
| A1T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 1 | | 1 | 1 | A - 1627 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|---------|-------|----|----|------------|----------------|-----------------|-------|-------|----|---|----------|
| A1T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 4 | 1 | 1 | A - 1628 |
| A1T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 3 | 1 | 1 | A - 1629 |
| A1T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Chilopoda | Lithobiomorpha | Henricopidae | | Ch 3 | 1 | 1 | A - 1630 |
| A1T3P5 | Apiques | 15-30 | T3 | P5 | | | | | | 0 | 1 | A - 1631 |
| A2T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 10 | 1 | 2 | A - 1632 |
| A2T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | Larva | LC 18 | 1 | 2 | A - 1633 |
| A2T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 2 | 4 | 2 | A - 1634 |
| A2T3P5 | Apiques | 15-30 | T3 | P5 | | | | | | 0 | 2 | A - 1635 |
| A3T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Diplopoda | Spirostreptida | Spirostreptidae | | D 3 | 1 | 3 | A - 1636 |
| A3T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Insecta | Dermaptera | Labiidae | | De 4 | 1 | 3 | A - 1637 |
| A3T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | Larva | LC 19 | 1 | 3 | A - 1638 |
| A3T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Chilopoda | Lithobiomorpha | Henricopidae | Larva | Ch 4 | 1 | 3 | A - 1639 |
| A3T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 1 | 1 | 3 | A - 1640 |
| A3T3P5 | Apiques | 0-15 | T3 | P5 | Hemiptera | Hemiptera | Cicadellidae | Larva | Ho 6 | 1 | 3 | A - 1641 |
| A3T3P5 | Apiques | 15-30 | T3 | P5 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 12 | 1 | 3 | A - 1642 |
| A1T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 3 | 2 | 1 | A - 1643 |
| A1T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 6 | 1 | 1 | A - 1644 |
| A1T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 4 | 1 | 1 | A - 1645 |
| A1T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Insecta | Coleoptera | Staphylinidae | Larva | LC 19 | 1 | 1 | A - 1646 |
| A1T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Clitellata | Haplotaxida | Enchytraeidae | | E 2 | 5 | 1 | A - 1647 |
| A1T3P9 | Apiques | 15-30 | T3 | P9 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 2 | 2 | 1 | A - 1648 |
| A1T3P9 | Apiques | 15-30 | T3 | P9 | Diplopoda | Spirostreptida | Spirostreptidae | | D 3 | 1 | 1 | A - 1649 |
| A1T3P9 | Apiques | 15-30 | T3 | P9 | Insecta | Collembola | Entomobryidae | | CL 1 | 1 | 1 | A - 1650 |
| A2T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 15 | 1 | 2 | A - 1651 |
| A2T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 11 | 1 | 2 | A - 1652 |
| A2T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 7 | 1 | 2 | A - 1653 |
| A2T3P9 | Apiques | 15-30 | T3 | P9 | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | C 18 | 1 | 2 | A - 1654 |
| A3T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | | C 19 | 1 | 3 | A - 1655 |
| A3T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 6 | 1 | 3 | A - 1656 |
| A3T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Clitellata | Haplotaxida | Enchytraeidae | | E 2 | 26 | 3 | A - 1657 |
| A3T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Diplopoda | Spirostreptida | Spirostreptidae | | D 4 | 2 | 3 | A - 1658 |
| A3T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Insecta | Lepidoptera | | Larva | LL 8 | 1 | 3 | A - 1659 |
| A3T3P9 | Apiques | 0-15 | T3 | P9 | Clitellata | Haplotaxida | Lumbricidae | | Lu 4 | 1 | 3 | A - 1660 |
| A3T3P9 | Apiques | 15-30 | T3 | P9 | Insecta | Coleoptera | Scarabeidae | Larva | LC 14 | 2 | 3 | A - 1661 |