



EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS SOBRE EL REPOBLAMIENTO DE LA MACROFAUNA EDÁFICA EN LA CANTERA SORATAMA, BOGOTÁ, D.C.

A. Granados-Hernández, J. I. Barrera-Cataño

*Escuela de Restauración Ecológica, Unidad de Ecología y Sistemática (UNESIS),
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias,
Pontificia Universidad Javeriana Carrera 7ª No. 43-82. Bogotá, Colombia
milnagranados@yahoo.com.mx, barreraj@javeriana.edu.co*

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la aplicación de biosólidos como enmienda orgánica sobre el repoblamiento de la macrofauna edáfica en la cantera Soratama. Los tratamientos se trabajaron en proporciones de biosólidos y estériles de la siguiente manera: 1:8 (**T1**), 1:4 (**T2**), 1:2 (**T3**) y control (**C**) 1:0. La colección de la macrofauna edáfica se realizó mediante monolitos de 20x20x30 cm divididos en dos profundidades. Se realizó un muestreo al inicio del experimento, es decir, inmediatamente fueron dispuestas las parcelas experimentales (**M0**) y tres muestreos más (**M1**, **M2** y **M3**) cada tres meses durante un período de nueve meses. La macrofauna edáfica colonizadora fue caracterizada por datos de diversidad, equidad y dominancia. El repoblamiento de adultos se observó a partir de **M1** y fue exclusiva de los tratamientos con biosólidos. Las familias más abundantes en los diferentes tratamientos fueron Enchytraeidae y Staphylinidae. En el caso de estados inmaduros el repoblamiento se observó a partir de **M2**. En conclusión, la aplicación de biosólidos favoreció la recolonización de la macrofauna edáfica y fue mayor a los nueve meses en los tratamientos con menor proporción de biosólidos.

Palabras clave: repoblamiento, cantera, biosólidos, macrofauna edáfica.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of sewage sludge application on soil macro fauna re-colonization. For this purpose, mixtures of sewage sludge and residual soil in different proportions (**T1** 1:8; **T2** 1:4; **T3** 1:2) and a control (**C** 1:0) were used. Plots were arranged in a complete randomized design. Collection of soil macro fauna was done by excavation of three monoliths of 20 cm x 20 cm x 30 cm, separated into two layers. There were made four sampling routines (**M0**, **M1**, **M2**, **M3**), three months each one, during a total period of nine months. Soil macro fauna was characterized by diversity and species dominance. Adult's re-colonization was observed in the second sampling (**M1**) exclusively on sewage sludge treatments, in which the most abundant families were Enchytraeidae and Staphylinidae. Larvae re-colonization was observed in the third sampling (**M2**) in the majority of treatments. It was concluded that sewage sludge application aids on soil macro fauna re-colonization, especially if it is applied in low doses.

Key words: re-colonization, sandstone quarry, sewage sludge, soil macrofauna.

INTRODUCCIÓN

La extracción de materiales a cielo abierto ha sido de gran importancia para el desarrollo urbanístico de las ciudades, debido a que en ella se extraen materiales como arenas, arcillas y gravas, que son utilizados para la industria de la construcción. Sin embargo, esta actividad a pesar de ser transitoria genera una transformación total en los ecosistemas al eliminar la vegetación, la fauna, el suelo, cambiar las geofomas del paisaje y las condiciones microclimáticas (Correa, 2000).

Al eliminar el compartimento del suelo en dichos terrenos, se crean condiciones extremadamente hostiles para el re-establecimiento de la fauna edáfica y vegetación, tales como fluctuaciones drásticas de temperatura y humedad, pH extremadamente ácido y bajos contenidos de materia orgánica y nutrientes, situación que hace que la recuperación natural sea muy lenta.

En este sentido, para la recuperación del compartimento del suelo y específicamente de la fauna edáfica después de la extracción de materiales a cielo abierto, es necesario agilizar la estabilización de las variables físicas y químicas del sustrato y hacer un aporte adecuado de alimento. La estabilización puede lograrse mediante la implementación de una enmienda orgánica que contrarreste los efectos de la acidez, mejore la retención de agua, aporte materia orgánica y nutrientes (alimento) y además minimice la erosión (Curry, 1998).

Entre las enmiendas orgánicas que se han utilizado en la recuperación de suelos se encuentran los biosólidos que son un producto sólido obtenido a partir del tratamiento de las aguas residuales, que contiene altos contenidos de materia orgánica (M.O.), fósforo (P), potasio (K) y alta humedad. Según su origen (doméstico o industrial), los biosólidos podrían presen-

tar patógenos y metales pesados en cantidades que podrían resultar peligrosas para la vida humana y otras especies (BAS, 2002).

Bogotá cuenta con la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de El Salitre que produce entre 130 y 150 toneladas diarias de biosólidos (BAS, 2002). Debido a que la tasa de producción de biosólidos, cada día va en aumento, se hace necesario buscar alternativas de aprovechamiento. Hoy por hoy se recomienda utilizarlos como enmienda orgánica para la recuperación de suelos degradados por la extracción minera a cielo abierto (Alcañiz *et al.*, 1998).

Dado que las condiciones ambientales donde se han utilizado los biosólidos como enmienda orgánica son diferentes a las existentes en la zona intertropical es importante realizar investigaciones que permitan valorar el uso en la restauración ecológica de canteras y en otros tipos de suelos pobres. En este sentido, esta investigación evaluó el efecto de la aplicación de los biosólidos, como enmienda orgánica, sobre el repoblamiento de la macrofauna edáfica en un período de tiempo de nueve meses.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la cantera Soratama ubicada en los cerros nororientales de la ciudad de Bogotá (Colombia), dentro de la localidad de Usaquén (con coordenadas 106900 E y 116000 N). La temperatura media anual es de 14°C y la precipitación promedio de 1220 mm. El sustrato que existía en el área experimental presentaba contenidos muy bajos de materia orgánica. Los suelos no disturbados corresponden a la familia Cabrera, al orden de los inceptisoles, (suelos minerales de baja evolución con horizontes genéticos y humedad asequible).

Contienen materiales que se derivan de arenizas, lutitas y arcillositas de la cordillera Oriental, y cenizas volcánicas provenientes de la cordillera Central. Este suelo presenta un pH de 4.9, un porcentaje de carbono orgánico de 3.1, un porcentaje de nitrógeno total de 0.23, capacidad de intercambio catiónico de 9.6 (meq/100 g), fósforo de 2.7 ppm y aluminio en 0.55 (meq/100g).

El diseño experimental fue completamente aleatorizado, constituido por cuatro tratamientos cada uno con tres repeticiones, dispuestos en parcelas de 18 m² (4.50 m x 4 m) por una altura de 30 cm, separados por 1 m de distancia. Los tratamientos variaron en la proporción de biosólidos y estériles (material residual de la extracción minera, libre de materia orgánica) de la siguiente manera: el control (**C**) con ausencia de biosólidos (1:0), el tratamiento 1 (**T1**) con una proporción de 8 partes de estériles por una de biosólido (8:1), tratamiento 2 (**T2**) con una proporción 4:1 y el tratamiento 3 (**T3**) con una proporción 2:1. Los biosólidos utilizados fueron suministrados por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre de Bogotá.

La incorporación de los biosólidos con los estériles se realizó mediante el procedimiento de mezcla previa, que consistió en revolver con una pala mecánica el estéril y el biosólido. Una vez mezclados se dejaron amontonados en una pila para su posterior disposición en las parcelas (Alcañiz *et al.*, 1998).

Para describir el cambio de la macrofauna edáfica colonizadora de los tratamientos y su distribución en el perfil del suelo, se realizaron cuatro muestreos: el primero (**M0**) una vez fue montado el diseño experimental, el segundo (**M1**) a los tres meses, el tercero (**M2**) a los 6 meses y el cuarto a los nueve meses (**M3**).

En cada muestreo se empleó el método recomendado por Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF) (Anderson & Ingram, 1993, en: Brown *et al.*, 2001) con algunas modificaciones. En cada parcela se escogieron aleatoriamente tres puntos, para realizar monolitos de 20 x 20 x 30 cm divididos en 2 profundidades: superficial de 0 a 15 cm y profundo de 15 a 30 cm, el suelo fue depositado en bolsas de plástico etiquetadas y selladas.

La extracción de la macrofauna de cada muestra se realizó de manera manual (Nelson, 1962 En: Chamorro, 1990). Los organismos extraídos, en el caso de los oligoquetos (enquitreidos) fueron preservados en formalina al 4%, mientras que la artropofauna fue en alcohol al 70%. La determinación taxonómica se realizó hasta familia.

Análisis de información

Para evaluar el repoblamiento de la macrofauna edáfica en los tratamientos se calculó la diversidad mediante el índice de Shannon, la equidad por medio del índice de Pielou y la dominancia por el índice de Simpson. Para hallar diferencias significativas entre tratamientos y muestreos para los índices de Shannon y Simpson se utilizó una prueba *t* de comparación. Adicionalmente, se calculó el índice de disimilaridad de Bray Curtis para comparar la composición de la macrofauna de los diferentes tratamientos.

RESULTADOS

En los resultados de adultos colectados por el método del TSBF, el control no fue incluido en los análisis, debido a que no fue colonizado por ninguna morfoespecie durante todos los muestreos.

Composición de la macrofauna edáfica (adultos)

El repoblamiento de la macrofauna edáfica se evidenció a partir de M1 para todos los tratamientos. En el muestreo realizado inmediatamente después de establecidas las parcelas, momento cero (M0) no se registraron datos. En total se colectaron 24 morfoespecies en los diferentes tratamientos, correspondientes a 9 órdenes y 13 familias.

Para los muestreos M1 y M2 (tres y seis meses después de establecidas las parcelas) en todos los tratamientos la familia dominante fue Enchytraeidae, especialmente en el T3, seguida de la familia Staphylinidae. Para el muestreo M3 (nueve meses después de implementado el experimento) se evidenció un incremento en el número de familias colonizadoras de la macrofauna edáfica, principalmente en el T1, no obstante, persistió el dominio de la familia Enchytraeidae, aunque en menor porcentaje de individuos (figura 1).

Los índices de diversidad y dominancia fueron aplicados para los datos hallados tres meses después de montado el experimento (M1), debido a la ausencia de morfoespecies en el momento cero (M0).

Diversidad de los tratamientos por muestreo (adultos)

En los muestreos realizados a los tres y seis meses (M1 y M2) para todos los tratamientos la diversidad presentó valores bajos, con variaciones entre 0-0.063. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para cada muestreo. En el muestreo realizado a los nueve meses (M3), la diversidad aumentó en todos los tratamientos con el valor más alto para el T1 con 1.805. Cuando se compararon los tratamientos se encontraron diferencias significativas de la siguiente manera: entre T1 y T3 ($t=9.538592$, $gl=249$, $P<0.001$) y entre T2 y T3 ($t= 8.406324$, $gl= 203$, $P<0.01$) (figura 2a).

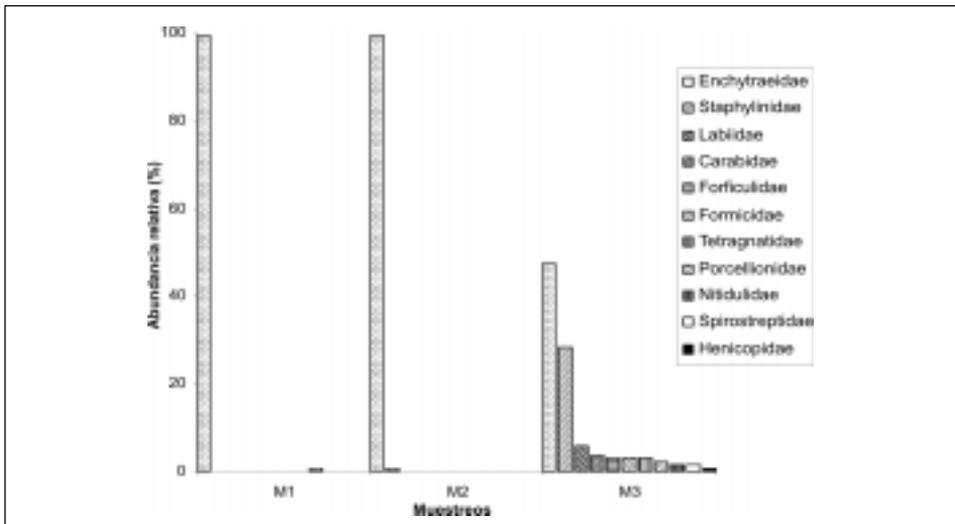
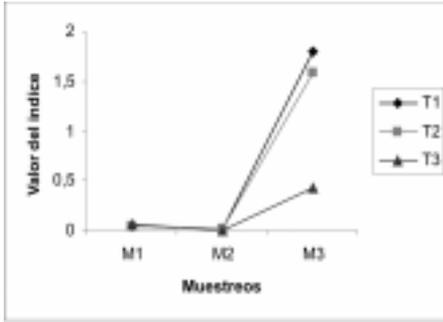
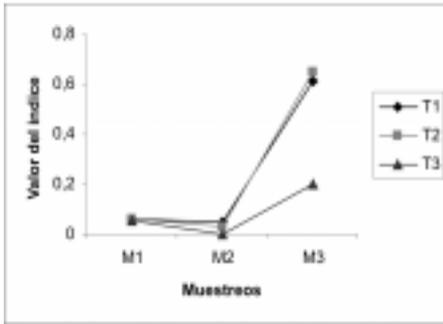


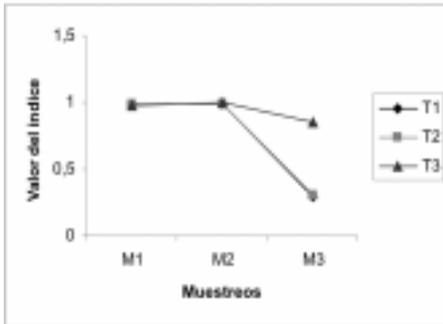
FIGURA 1. Abundancia relativa de adultos por familias de la macrofauna edáfica en T1. No se muestran las gráficas para T2 y T3 ya que presentaron un patrón similar en la abundancia.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 2. Variación de los índices de: a) Diversidad de Shannon, b) Equidad de Pielou y c) dominancia de Simpson, en ejemplares adultos de macrofauna edáfica registrados en los diferentes tratamientos.

Equidad de los tratamientos por muestreo (adultos)

Los valores de equidad en los muestreos 1 (M1) y 2 (M2) fueron bajos y variaron entre 0 – 0.06. Para el muestreo 3 (M3), se

evidenció un incremento en los valores de equidad, el T2 con el mayor valor 0.65, seguido por el T1 con 0.613 y el T3 con 0.202 (figura 2b).

Dominancia de los tratamientos por muestreo (adultos)

Los valores del índice de Simpson para los muestreos M1 y M2 fueron altos y variaron entre 0.975 – 1. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Para el muestreo 3 los valores del índice disminuyeron en todos los tratamientos. Sin embargo, el T3 presentó mayor dominancia con un valor de 0.84. Se encontraron diferencias significativas entre T1 y T3 ($t=12.131$, $gl=249$, $P<0.01$) y entre T2 y T3 ($t=10.903$, $gl=203$, $P<0.01$) (figura 2c).

Diversidad y dominancia de cada tratamiento a través del tiempo (adultos)

El cambio de la diversidad y dominancia a lo largo de los nueve meses para cada tratamiento presentó diferencias significativas en T3 entre M1 y M2, y en todos los tratamientos entre M2 y M3 (tabla 1).

Similitud (adultos)

Al comparar los tratamientos con el análisis de disimilitud de Bray Curtis, se encontró que T2 y T3 fueron los más similares (35,81%), seguido por T1 y T2 (29,04%); y T1 y T3 (26,69%) (figura 3).

Composición - de la macrofauna edáfica (estados inmaduros)

Se registraron estados inmaduros pertenecientes al orden coleoptera y diptera. Tres morfoespecies no fueron determinadas hasta familia. En el control (C) fueron colectadas solamente en M2, estados inmaduros pertenecientes a la familia Scarabaeidae del orden Coleoptera (figura 4 a, b, c, y d).

Tabla 1

Prueba T, que compara los resultados de los índices de diversidad de Shannon y dominancia de Simpson, a lo largo de los nueve meses en los diferentes tratamientos

Tratamiento	Muestreo	Shannon			Simpson		
		Calculo t	P valor	gl	Calculo t	P valor	gl
1	M1-M2	0.711	0.238	176	0.678	0.249	176
1	M2-M3	14.659	2.66E-30 *	139	21.957	2.49E-47 *	139
2	M1-M2	0.595	0.276	165	0.572	0.283	165
2	M2-M3	13.894	2.13E-25*	102	18.608	7.25E-35 *	102
3	M1-M2	2.383	0.008 *	387	2.0328	0.021**	387
3	M2-M3	5.273	1.64E-07 *	212	4.550	4.51E-06 *	212

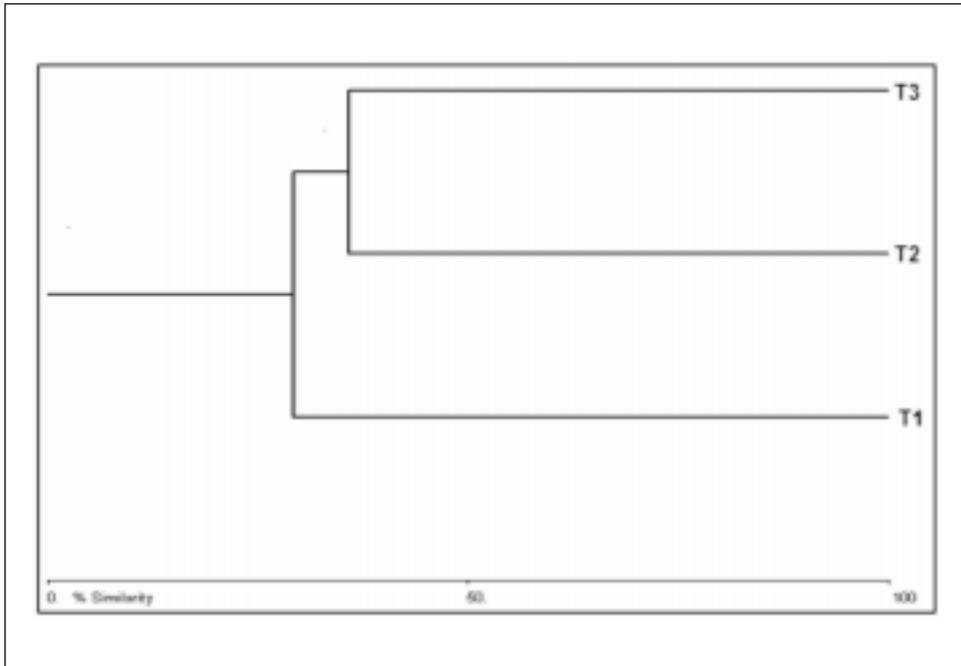


FIGURA 3. Dendrograma de similaridad de Bray Curtis. Comparación de los diferentes tratamientos aplicados a estados adultos de macrofauna edáfica.

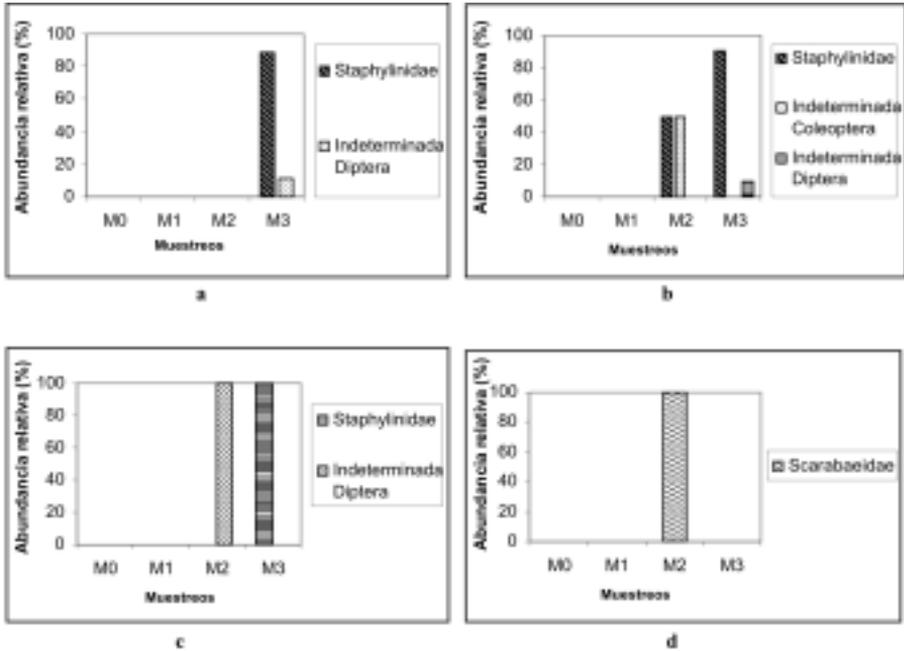


FIGURA 4. Abundancia relativa de las familias y órdenes de estados inmaduros pertenecientes a la macrofauna edáfica: a) Tratamiento 1, b) Tratamiento 2, c) Tratamiento 3 y d) Control.

Diversidad, equidad y dominancia de los tratamientos por muestreo (estados inmaduros)

El índice de Shannon, Pielou y Simpson para estados inmaduros se aplicó sólo en el M3, debido a la ausencia y bajas abundancias en los muestreos anteriores.

T1 (H' : 1.485) presentó la mayor diversidad de estados inmaduros en M3. La comparación de la diversidad entre tratamientos mostró diferencias significativas, entre T1 y T3 ($t= 3.831$, $gl=53$, $P < 0.01$) y entre T2 y T3 ($t= 3.074$, $gl=18$, $P < 0.01$). Sin embargo, T2 presentó mayor equidad (0.804), seguido por T1 con 0.763 y por último T3 con 0.485 (figura 5).

En cuanto a la dominancia, T3 presentó el valor más alto (D : 0.80) (figura 5). Las dife-

rencias de los valores del Índice de Simpson fueron más significativas entre T1 y T3 ($t= 4.527$, $gl=53$, $P < 0.01$) y T2 y T3 ($t= 19.1676$, $gl=18$, $P < 0.01$).

Similitud de estados inmaduros

A través del índice de disimilitud de Bray Curtis se encontró que T1 y T2 fueron los más similares (44,75%), seguidos por T1 y T3 (39,46%), y por último T2 y T3 con 23,75%. Entre el control y los tratamientos con biosólido no se encontró similitud (0%) (figura 6).

DISCUSIÓN

Se ha documentado que la adición de biosólidos puede promover el estableci-

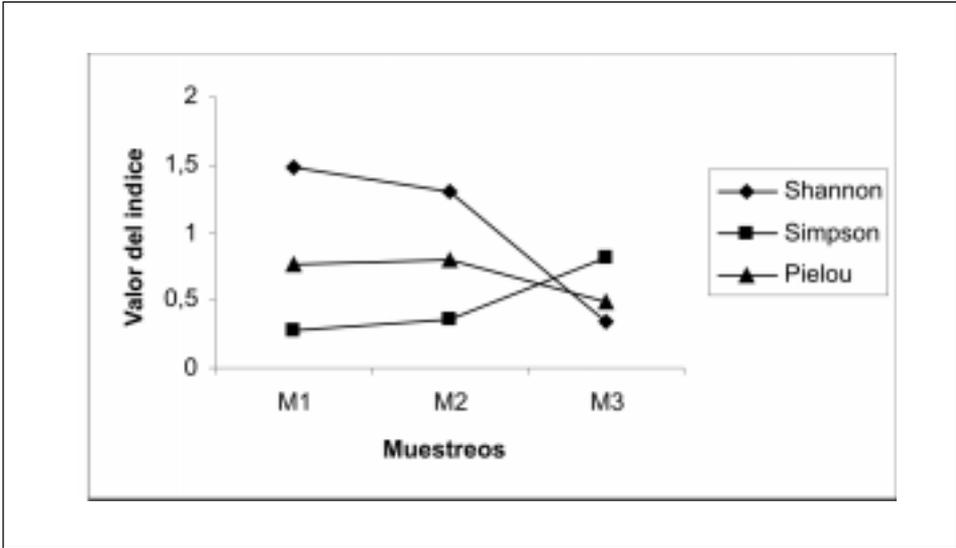


FIGURA 5. Variación de los índices de Shannon, Pielou (equidad) y Simpson para estados inmaduros en los diferentes tratamientos en M3.

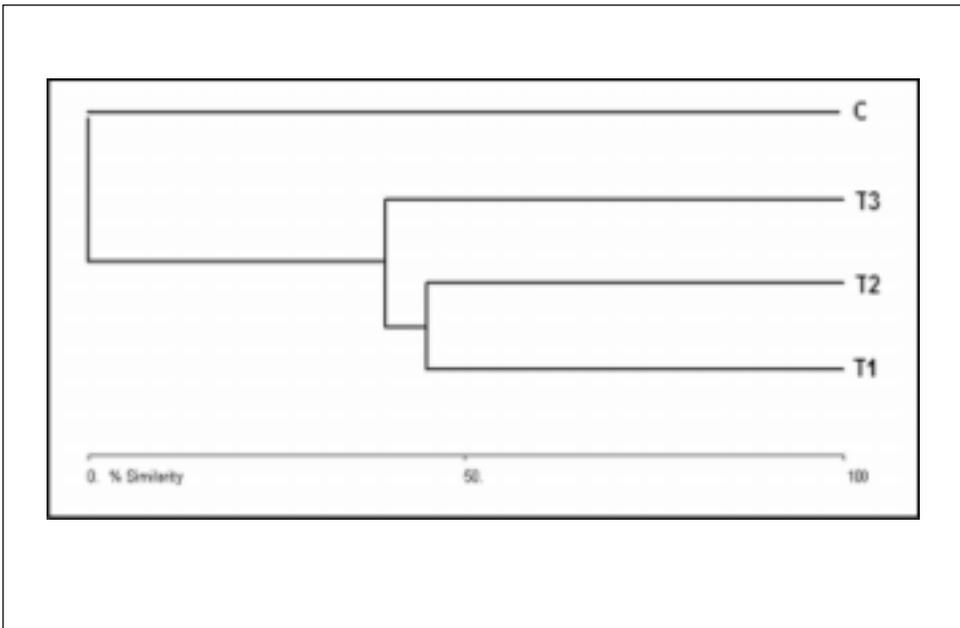


FIGURA 6. Dendrograma de similitud de Bray Curtis. Comparación de los diferentes tratamientos aplicados a estados inmaduros de macrofauna edáfica.

miento y la actividad de la fauna edáfica, debido a que ocurre un incremento en la disponibilidad de alimento, mejoran las condiciones físicas y químicas del sustrato, tales como: pH, estructura, capacidad de intercambio catiónico, retención de agua, densidad; además de que se estabiliza la temperatura superficial (Alcañiz *et al.*, 1998; Sort & Alcañiz, 1999; Al-assiuty *et al.*, 2000; Minor & Norton, 2004).

Los resultados de este estudio, para los diferentes tratamientos, mostraron que el repoblamiento de los grupos pertenecientes a la macrofauna edáfica fue acelerado comparado con el control; además, con el transcurso del tiempo la diversidad aumentó, lo cual está acorde con lo encontrado en otras investigaciones de sucesión y colonización de invertebrados del suelo en áreas mineras (Jansen, 1997; Madden & Fox, 1997; Majer & Nichols, 1998).

Fueron observadas diferencias entre el control y los tratamientos, debido a que en el control no se presentó colonización de ninguna especie, lo cual confirma la hipótesis que la aplicación de biosólidos estimula el repoblamiento de la macrofauna edáfica y por ende las funciones que cumplen en el ecosistema.

La diversidad en M1 (a los 3 meses) y M2 (a los 6 meses) fueron bajas, con alta dominancia en todos los tratamientos, debido a la colonización en gran abundancia de la familia Enchytraeidae. Algunas investigaciones han demostrado que la aplicación de biosólidos como enmienda orgánica favorece la actividad de esta familia (Adesodun *et al.*, 2005), tal como se presentó en esta investigación, donde la abundancia aumentó a medida que se incrementó la dosis de biosólidos. Probablemente, dicha colonización se debió al aporte de materia orgánica, fuente de alimento para esta familia, ya que se ha documentado que suelos con altos contenidos

de materia orgánica pueden mantener altas poblaciones de Enchytraeidae (Jackson & Raw, 1975; IGAC, 1995; Brussaard *et al.*, 1997). En este sentido, se podría decir que esta familia es de gran importancia en la sucesión al cumplir la función de mineralización de la materia orgánica.

Cuando se analizó el comportamiento de esta familia a través del tiempo se pudo apreciar que en el cuarto muestreo (M3) la abundancia disminuyó en todos los tratamientos, lo cual pudo ser causado por la estacionalidad y disminución de la materia orgánica que es la fuente de alimento, para dichos organismos. Sin embargo, sus poblaciones se mantuvieron más altas en los tratamientos con mayor dosis de biosólidos (IGAC, 1995).

En cuanto a la diversidad y riqueza encontrada en los tratamientos fue inversamente proporcional a las dosis de biosólidos, es decir, la menor dosis de biosólidos presentó la mayor diversidad de especies.

Algunas investigaciones han hallado que la recolonización de los invertebrados del suelo está muy correlacionada con la vegetación (Parmenter *et al.*, 1991; Majer & Nichols, 1998; Burger *et al.*, 2002). Ochoa (2005) en la misma área experimental, encontró que T1 tiene mayor diversidad y riqueza de plantas, además fue el segundo en porcentaje de cobertura, lo que concuerda con la alta diversidad hallada de la macrofauna edáfica, siguiendo un orden descendente el T2, que presentó la segunda diversidad de plantas y la mayor cobertura, y por último el T3 presentó la menor diversidad y cobertura de vegetación, y a su vez la menor diversidad de la macrofauna edáfica.

En el tercer muestreo la segunda familia más abundante fue Staphylinidae, especialmente en T1 y T2. De acuerdo a la literatura la capacidad de colonización se debe a

que son buenos voladores, además los que presentan pequeños tamaños (como las morfoespecies presentes en los tratamientos) son llevados por el viento a grandes distancias (Bohac, 1999).

La mayor parte de las especies de esta familia son reportadas como depredadoras de artrópodos del suelo (nematodos, ácaros, colémbolos, pequeños insectos y larvas), por lo tanto la colonización de estos individuos posiblemente pudo ser causado por la disponibilidad de alimento, ya que se ha confirmado en estudios que las poblaciones de colémbolos y ácaros son incrementadas con la aplicación de biosólidos (Al-assiuty *et al.*, 2000; Minor & Norton, 2004).

El aumento en la abundancia de la familia Staphylinidae fue acorde con los estados larvarios que se presentaron, ya que donde se encontraron más adultos (T1) fue donde hubo mayor abundancia y diversidad de estados inmaduros. Al igual que los adultos los estados inmaduros presentaron los mismos hábitos alimenticios y según la literatura son relativamente comunes en el suelo y tiene gran importancia pedobiológica (IGAC., 1995).

También, en este muestreo (M3) se establecieron además de los Enchytraeidae otros grupos saprófagos, como la familia Porcellionidae, Labiidae y Forficulidae, estas dos últimas pueden migrar fácilmente por su capacidad de volar; además de los herbívoros como Chrysomelidae, arañas depredadoras de la familia Tetragnathidae y quilopodos de la familia Henicopidae. Aunque estas familias son epigeas se tuvieron en cuenta en las muestras de suelo; y su presencia en este muestreo se debe a que la vegetación presente puede sostener un mayor grupo de individuos, al generar un microclima adecuado y proveer alimento por el aporte de hojarasca (Larsen *et al.*, 1996).

En este estudio se observó que los primeros colonizadores de la macrofauna edáfica son aquellos capaces de explotar el contenido de materia orgánica aportado por los biosólidos, seguido por depredadores que se alimentan de los grupos favorecidos y por último de omnívoros y herbívoros.

CONCLUSIONES

Los tratamientos que generan el mejor repoblamiento de la macrofauna edáfica fueron T1 y T2 (menores dosis de biosólidos), ya que presentaron la mayor diversidad de especies y menor dominancia, lo que sugiere un desarrollo y mejor re establecimiento de las funciones ecológicas de la macrofauna edáfica, al contrario de lo presentado en T3, que aunque presenta el mayor número de individuos, presenta la menor diversidad de especies.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento Técnico del Medio Ambiente por su apoyo financiero, a la bióloga Sandra Montoya por su acompañamiento técnico, a Bogotana de Aguas y Saneamiento por su colaboración en el transporte y donación de los biosólidos.

LITERATURA CITADA

- ADESODUM, J.; DAVIDSON, D. & HOPKINS, D. 2005. Micromorphological evidence for changes in soil faunal activity following application of sewage sludge and biocide. *Applied Soil Ecology* 29: 39-45.
- ALCAÑIZ, J.; COMELLAS, L.; PUJOLÁ, M. & SERRA, E. 1998. Utilización de lodos de depuración en la rehabilitación de suelos de canteras. *Ingeopres* 59: 28-34.

- AL-ASSIUTY, A.; KHALIL, M. & ABDEL-LATEIF, H. 2000. Effects of dry sludge application on soil microarthropod communities in a reclaimed desert ecosystem. *Pedobiología* 44: 567.
- Bogotana de Aguas y Saneamiento (BAS). 2002. Situación Actual y futura del aprovechamiento de los biosólidos de la PTAR El Salitre en el relleno sanitario Doña Juana. Documento interno. Bogotá, 1-5.
- BOHAC, J. 1999. Staphylinid beetles as bioindicators. *Agriculture Ecosystems & Environment* 74: 357-372.
- BROWN, G.; FRAGOSO, C.; BAROIS, I.; ROJAS, P.; PATRÓN, J.; BUENO, J.; MORENO A.; LAVELLE, P.; ORDAZ, V. & RODRÍGUEZ, C. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana* Número especial 1: 79-110.
- BRUSSARD, L.; BEHAN-PELLETIER, V.; BIGNELL, D.; BROWN, V.; DIDDEN, W.; FOLGARAIT, P.; FRAGOSO, C.; FRECKMAN, GUPTA, V.S.R.; HATTORI'S, T.; HAWKSWORTH, D.L.; KLOPATEK, C.; LAVELLE, P.; MOLLOCH, D.; RUSEK, J.; SODERSTROM, B.; TIEDJE J. & VIRGINIA, R. 1997. *Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil Ambio*. 26 (8): 563-570.
- BURGER, J.; REDAK, R.; ALLEN, E; ROTENBERRY, J. & ALLEN, M. 2002. Restoring arthropod communities in Coastal Sage Scrub. *Conservation Biology* 17 (2): 460-467.
- CHAMORRO, C. 1990. Los páramos que circundan la ciudad de Bogotá. *Investigaciones* 2 (1): 11-45.
- 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. 13 págs.
- Curry, J. 1998. Factors Affecting earthworm abundance in soils, in Edwards, C. (ed.). *Earthworm Ecology*. St. Lucie Press. USA. Capítulo 3. 37-64.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Subdirección agrológica. 1995. Suelos de Colombia. Bogotá, Colombia, 622 pp.
- JACKSON, R. & RAW, F. 1975. *Life in the soil*. The Camelot Press. London. 59 pp.
- JANSEN, A. 1997. Terrestrial invertebrate community structure as an indicator of the success of a tropical rainforest restoration project. *Restoration Ecology* 5(2): 115-124.
- LARSEN, K.; PURRINGTON, F.; BREWER, S. & TAYLOR, D. 1996. Influence of sewage sludge on the ground beetle (Coleoptera: Carabidae) fauna of an old-field community. *Environmental Entomology* 25 (2): 452-459.
- MADDEN, K. & FOX, B. 1997. Arthropods as indicators of the effects of flouride pollution on the succession following sand mining. *The Journal of Applied Ecology* 34 (5): 1239-1256.
- MAJER, J. & NICHOLS, G. 1998. Long-term recolonization patterns of ants in Western Australian rehabilitated bauxite mines with reference to their use as indicators of restoration success. *Journal of Applied Ecology* 35: 161-182.
- 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. *Canadian Journal for Research* 34: 1417-1425.

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 grado. Pontificia Universidad Javeriana. 97 pp.

PARMENTER, R.; MACMAHON, J. 1987. Early successional patterns of arthropod recolonization on reclaimed strip mines in Southwestern Wyoming: the ground-dwelling beetle fauna (Coleoptera). *Environmental Entomology* 16 (1): 168-177.

PARMENTER R.; MACMAHON, J. & GILBERT, C. 1991. Early successional patterns of arthropod recolonization on reclaimed wyoming strip mines: The grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) and allied fauna (Orthoptera: Gryllacrididae, Tettigonidae). *Environmental Entomology* 20(1): 135-142.

SOT, X. & ALCAÑIZ, M. 1996. Contribution of sewage sludge to erosion control in rehabilitation of limestone quarries. *Land Degradation & Development* 10. 3-12.

Recibido: 30-11-2006

Aprobado: 15-05-2007