



EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS, SOBRE EL DESARROLLO DE LA VEGETACIÓN EN LAS PRIMERAS ETAPAS SUCESIONALES, EN LA CANTERA SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUÉN, BOGOTÁ

A.C. Ochoa-Carreño, 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
anana8a@yahoo.com, barreraj@javeriana.edu.co*

RESUMEN

El efecto de los biosólidos, usados como enmienda orgánica, sobre el desarrollo de la vegetación, fue estudiado en la cantera de areniscas de Soratama, localizada al nororiente de Bogotá, D. C. El experimento se realizó en parcelas con tres tratamientos en los cuales se mezclaron estériles y biosólidos en las proporciones: 8:1 (T1), 4:1 (T2) y 2:1 (T3), y el control (C) compuesto sólo de estériles (1:0). Se colocaron cuatro subparcelas permanentes, de 70 x 70 cm, en cada una se registraron datos de vegetación, usando un cuadrante subdividido en 100 cuadrados. La toma de datos se realizó trimestralmente desde marzo hasta septiembre de 2004. El aumento de la altura y cobertura de la vegetación en los tratamientos fueron significativamente mayores, comparados con las parcelas control; pero el aumento no fue proporcional a la adición de biosólido. La composición florística fue dominada por hierbas de las familias *Poaceae* y *Asteraceae*. La diversidad y riqueza de especies, aumentaron en el tiempo y fueron mayores en el T1. Las especies dominantes tenían los atributos vitales DT, correspondientes a dispersión efectiva, generación de un banco de semillas y tolerancia a la competencia; también dominaron las especies perennes. Los resultados mostraron que la aplicación de biosólidos en las proporciones 8:1 y 4:1, favorecen el crecimiento de la vegetación y aumentan la diversidad y riqueza de plantas.

Palabras clave: atributos vitales, biosólidos, cobertura vegetal, composición florística, recuperación de la cantera.

ABSTRACT

The effect of sewage sludge, used as organic amendment on vegetation development, was studied in Soratama sandstone quarry, located at north east of Bogotá city. The experiment was made on plots that had three treatments in which there were sewage sludge and spoils, mixed in the ratios: 8:1 (T1), 4:1 (T2) and 2:1 (T3), and control plots (C), composed just by spoils (1:0). Permanent 70 x 70 cm subplots were established in every plot, to record vegetation data, using a grid divided in 100 7 x 7 cm subsquares. Data were taken quarterly since March to September 2004. Increase of vegetation height and cover on treatments were significantly greater, compared to control plots, nevertheless, increase wasn't proportional to sewage sludge addition. Floristic composition was dominated by herbs of *Poaceae* and *Asteraceae* families. Diversity and species richness increased with time and were greater in T1. Dominant species had DT vital attributes, corresponding to effective dispersion, seedbed production and tolerance to competence. Perennial species were also dominant. The results showed that sewage sludge application in the ratios: 8:1 and 4:1, favours vegetation growth, and increase diversity and vegetal species richness.

Key words: vital attributes, sewage sludge, vegetal cover, floristic composition, reclamation quarry.

INTRODUCCIÓN

Los Cerros Orientales de Bogotá han sido sometidos a diferentes tipos de disturbios, entre ellos la industria extractiva de areniscas (canteras), que genera degradación de los ecosistemas, debido a que elimina el suelo, la vegetación y la fauna. Esta perturbación facilita los procesos erosivos y limita el desarrollo de las especies vegetales que se establecen naturalmente en las canteras. Un efecto directo de ésta, es el retardo de la sucesión vegetal que tiene como consecuencia un proceso de regeneración natural mucho más lento.

Alternativas para enfrentar la recuperación de zonas degradadas por este impacto, ha sido el uso de biosólidos que como enmienda orgánica ayuda a recuperar suelos degradados (Sort & Alcañiz, 1996; Navas *et al.*, 1999; Amézquita, 2002; Martínez *et al.*, 2003; Moreno-Peñaranda *et al.*, 2004), ya que mejoran la estructura del suelo, al aumentar su porosidad, aportan carbono orgánico y nutrientes como el nitrógeno y fósforo, que son esenciales para el crecimiento de las plantas; aumentan la disponibilidad de agua, favorecen los procesos de mineralización, minimizan la acción de los procesos erosivos, aumentan las poblaciones de lombrices e incrementan el desarrollo de la cubierta vegetal (Sort & Alcañiz, 1996; Alcañiz *et al.*, 1998; FRET, 2001; García, 2001; Amézquita, 2002; Martínez *et al.*, 2003; Pacheco & Patiño, 2003). Sin embargo, la presencia de patógenos y metales pesados restringen su utilización en la agricultura, pero sí pueden emplearse en la recuperación de predios dedicados a la actividad extractiva constituyendo una alternativa de uso.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de diferentes proporciones de biosólidos, sobre el desarrollo de la vegetación, en las primeras etapas sucesionales, en parcelas experimentales

ubicadas dentro de la zona de extracción de areniscas llamada “cantera Soratama”. Los biosólidos usados en el experimento provienen de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Salitre” ubicada en las afueras de la ciudad de Bogotá, esta planta produce en promedio 130 toneladas diarias de biosólido, que se obtienen a partir del tratamiento de aguas residuales domésticas.

Las variables que se tuvieron en cuenta fueron: cobertura y altura de las especies, diversidad de plantas en términos de riqueza de especies y diversidad (a través de índices de diversidad); además se realizaron listados florísticos a través de los cuales se determinaron los atributos vitales propuestos por Noble & Slatyer (1980).

Este trabajo hace parte del proyecto de restauración ecológica de la cantera Soratama, el cual está enmarcado en el convenio 017/2003, celebrado entre el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA) y la Pontificia Universidad Javeriana.

MÉTODOS

Área de estudio

Este estudio fue llevado a cabo en la cantera Soratama, localizada en la parte norte de los Cerros Orientales, en la localidad de Usaquén de la ciudad de Bogotá (Colombia) (106900 E y 116000 N), entre las cotas 2810 msnm y 2930 msnm (Delgado & Mejía, 2002; Correa & Correa, 2003). El piso térmico de la zona es frío, según el sistema de clasificación climática de Caldas (Eslava *et al.*, 1986), con una precipitación media anual de 971.07 mm y una temperatura promedio de 12°C.

La vegetación de la cantera está compuesta principalmente por especies arbustivas como, *Morella parvifolia*, *Miconia* sp., *Hypericum juniperinum*, *Cavendishia*

cordifolia, *Eupatorium angustifolium*, *Baccharis latifolia*, y especies herbáceas como *Calamagrostis* sp., *Achyrocline* sp., *Arcitophyllum nitidum*, entre otras. Además se encuentran especies exóticas como *Pteridium aquilinum*, *Ulex europaeus*, *Penisetum clandestinum* y *Anthoxanthum odoratum* (Sánchez *et al.*, 2003).

Diseño experimental

Se realizó un diseño completamente aleatorizado a través del cual, se distribuyeron tres tratamientos y el control, cada uno con tres repeticiones, en doce parcelas de 18 m² (4 x 4.5 m) cada una. Se empleó una distancia de 1 m entre las parcelas para evitar la mezcla entre los tratamientos, y

una distancia de 2 a 3 m de las áreas adyacentes para minimizar la influencia de la vegetación adyacente sobre las parcelas.

Los tratamientos consistieron en la mezcla V/V de estériles y biosólidos en las proporciones: 8:1 (Tratamiento 1 = T1), 4:1 (Tratamiento 2 = T2), 2:1 (Tratamiento 3 = T3); mientras que el Control (C), estaba compuesto sólo de estériles. Las propiedades fisicoquímicas de los biosólidos generados por la PTAR El Salitre, fueron descritas por Guacaneme (2005) (tabla 1).

Muestreo de la vegetación y análisis

Las parcelas fueron evaluadas durante nueve meses a partir de su montaje y se

Tabla 1
Propiedades fisicoquímicas de los biosólidos producidos en la PTAR El Salitre

Parámetro	Unidad	Valor
Calcio	(meq / 100g)	67
Carbono orgánico	(%)	11,7
C.I.C.	(meq / 100g)	33,8
Fósforo	(ppm)	166
Magnesio	(meq / 100g)	2,4
Nitrógeno Total	(%)	1,7
pH	(unidades)	7,3
Potasio	(meq / 100g)	0,55
Sodio	(meq / 100g)	0,61
Bases Totales	(meq / 100g)	70,05
Saturación de Bases	(%)	SAT
Conductividad eléctrica	(dS / m)	4,4

Fuente: Guacaneme (2005).

realizaron tres tomas de datos trimestrales, a partir del tercer mes posterior al montaje de los tratamientos (noviembre de 2003). El seguimiento de la vegetación se llevó a cabo en cuatro subparcelas de 70 x 70 cm, dispuestas aleatoriamente sobre cada parcela; en ellas se estimó el porcentaje de cobertura de la vegetación, con la ayuda de un marco removible, dividido en 100 cuadrados de 7 x 7 cm, y empleando una cinta métrica, se hizo el seguimiento del crecimiento vertical de las plantas que germinaron inicialmente (primer muestreo) sobre las parcelas. También se determinó la composición florística de cada tratamiento y del control, en cada muestreo. Además se agrupó la vegetación de acuerdo a los atributos vitales descritos por Noble & Slatyer (1980), y a la forma de crecimiento de las especies (Mahecha, 1997). Dichas características fueron asignadas teniendo en cuenta las observaciones hechas en campo y de acuerdo con literatura especializada en especies arvenses, como los trabajos de Pérez-Arbeláez (1936), Martínez (1950) y Holm y colaboradores, (1977), entre otros.

El porcentaje de cobertura total de cada especie se utilizó como medida de abundancia de éstas, con el fin de calcular la diversidad de especies en cada muestreo; para ello se consideró la riqueza de especies (S), el índice de diversidad de Shannon (H'), la equidad de Pielou (J) y la dominancia de Simpson (D). Adicionalmente se calculó el índice de Disimilitud de Bray-Curtis, con el fin de comparar la composición florística de los tratamientos y del control, en cada muestreo (Magurran, 1989; Ramírez, 1999; Moreno, 2001).

A partir de los índices de diversidad y de la cobertura alcanzada por las especies, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) en cada muestreo, para determinar si existían

diferencias significativas entre los tratamientos, y entre éstos y el control. Para verificar la significancia estadística entre las medias de las variables analizadas, se efectuó la prueba de comparación múltiple de Duncan.

RESULTADOS

Composición florística

Se registró un total de 16 especies, pertenecientes a 16 géneros y 7 familias. Las familias más abundantes fueron Poaceae y Asteraceae cada una con 5 especies. El tratamiento con menor proporción de biosólido (T1), presentó durante todo el muestreo, el mayor número de especies pertenecientes a la familia Poaceae. También se apreció un alto número de especies exóticas (11 especies) frente a un pequeño número de nativas (5 especies).

Altura de la vegetación

Los datos de altura muestran un constante crecimiento de las especies vegetales en los tratamientos y el control; sin embargo, las especies tuvieron una mejor respuesta en unos tratamientos que en otros. La mayoría de especies registradas, aparecieron en uno o dos tratamientos, sólo el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), fue registrado en todos los tratamientos y el control (tabla 2).

Cobertura registrada por cada especie

La cobertura de la vegetación aumentó de manera constante a través del tiempo, tanto en los tratamientos como en el control (tabla 3); sin embargo, el aumento no fue proporcional al incremento del biosólido (figura 1). Sólo en el tercer muestreo, la cobertura fue significativamente diferente ($P < 0.05$) entre los tratamientos y el control.

Tabla 2
Crecimiento longitudinal de las especies registradas a partir del primer muestreo, a lo largo del estudio

Especie	Muestreo 1				Muestreo 2				Muestreo 3			
	C	T1	T2	T3	C	T1	T2	T3	C	T1	T2	T3
<i>Anthoxanthum odoratum</i>		3,2				36				58		
<i>Holcus lanatus</i>		5				53		8,7		106	12	62
<i>Ulex europaeus</i>			1,1	0,3			6	8			33,5	23,5
<i>Hypochaeris radicata</i>	0,2	0,3			24	39	46	66	29,6	48	53	42
<i>Pennisetum clandestinum</i>	1,6	4,2	5,8	0,8	6,4	7	18	8	6,5	11,5	39	19,8
<i>Spergula arvensis</i>		12	2,3			29	17,7			31	23	
<i>Stipa ichu</i>		4,2				40				104		

Tabla 3
Porcentaje de cobertura de las especies en cada tratamiento, en los tres muestreos

Especie	Muestreo 1				Muestreo 2				Muestreo 3			
	C	T1	T2	T3	C	T1	T2	T3	C	T1	T2	T3
<i>Anthoxanthum odoratum</i>		0,01				1,98				8,25		
<i>Baccharis lanifolia</i>										0,01	0,17	0,32
<i>Gnaphalium spicatum</i>						0,03				0,10		
<i>Holcus lanatus</i>		0,03				10,30		0,38		21,86	0,30	2,95
<i>Hypericum jansiperinum</i>					0,0003							
<i>Hypochaeris radicata</i>	0,001	0,01			0,04	1,03	0,10	2,32	0,49	3,23	0,49	5,05
<i>Macklenbeckia rhombifolia</i>										0,03	0,58	
<i>Morella parvifolia</i>						0,001				0,004		
<i>Pennisetum clandestinum</i>	0,001	0,04	0,43	0,002	0,01	1,08	8,94	0,78	0,07	2,38	56,70	14,41
<i>Poa annua</i>										0,46	0,39	
<i>Rumex acetosella</i>							0,01			1,55	1,27	
<i>Sonchus oleraceus</i>											0,01	0,28
<i>Spergula arvensis</i>		0,06	0,01			0,68	1,01			3,95	5,34	
<i>Stipa ichu</i>		0,001			0,0001	0,26	0,06	0,01	0,001	3,46	0,75	1,16
<i>Taraxacum officinale</i>												0,25
<i>Ulex europaeus</i>			0,003	0,001			0,01	0,02			1,30	0,68
Cobertura Total (%)	0,002	0,15	0,44	0,003	0,05	15,36	10,13	3,51	0,57	45,29	67,30	25,08

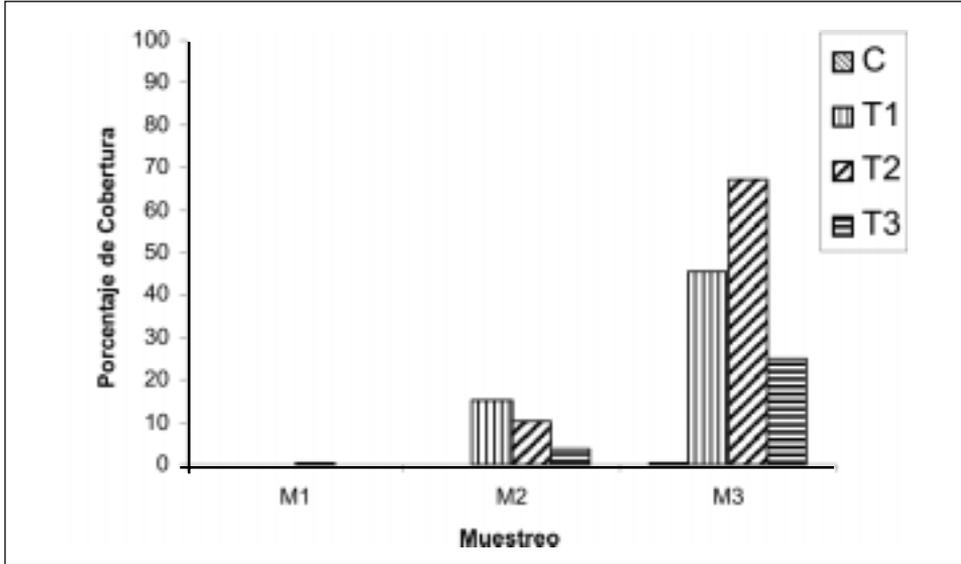


FIGURA 1. Porcentaje de cobertura vegetal en cada tratamiento a lo largo del estudio.

Índices de diversidad

La riqueza de especies aumentó a medida que transcurrió el tiempo, la única excepción se dio en el control, donde el número de especies descendió de 4 a 3, al final del estudio. El número de especies siempre fue mayor en el T1, seguido de T2 y T3; el C, siempre tuvo el menor número de especies (figura 2a). El T1 fue significativamente diferente ($P < 0.05$) de los demás tratamientos y el control en el primer muestreo (M1); en el segundo muestreo (M2), sólo T1 y C fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$), y en el tercer muestreo (M3), El C tenía diferencias altamente significativas ($P < 0.01$), respecto a los tratamientos con biosólido.

La diversidad medida a través del índice de Shannon, mostró que el T1 fue el tratamiento más diverso, seguido de T3 y T2, los cuales tienen una tendencia hacia el aumento de la diversidad en el tiempo, excepto por el C, cuya tendencia es hacia la

disminución de dicha variable (figura 2b). El T1 fue significativamente diferente ($P < 0.05$) de los demás en el M1, pero en el M2 y M3, C fue el que se diferenció significativamente ($P < 0.05$) de los tratamientos con biosólido.

Por otra parte el índice de Simpson muestra que en T2 y T3 la tendencia es hacia la disminución de la dominancia a medida que pasa el tiempo, y que en el C por el contrario tiende a aumentar (figura 2c). El T1 nuevamente se diferenció significativamente ($P < 0.05$) de los demás en el M1; en el M2 existieron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en la dominancia entre todos los tratamientos y el control, a excepción de T3 y T1; y por último en el M3, la dominancia de todos era significativamente diferente ($P < 0.05$).

Finalmente el índice de equidad de Pielou, mostró que el C presentó la menor uniformidad de especies, mientras que T1 y T3 tenían los mayores valores, lo cual indica

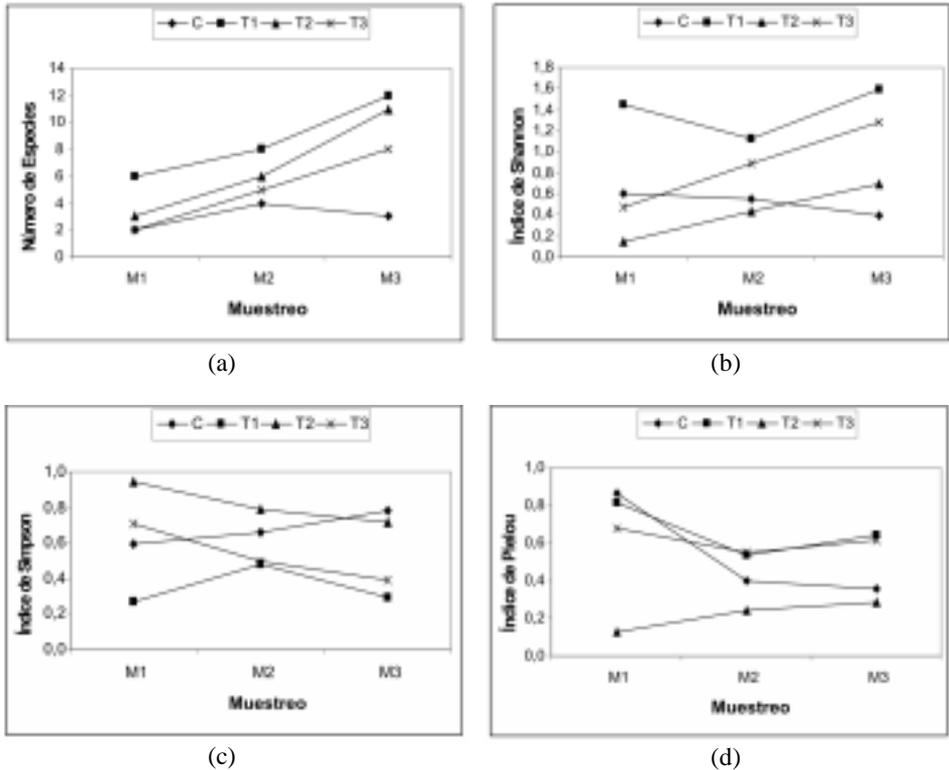


FIGURA 2. Variación de la diversidad para cada tratamiento en todos los muestreos, medida a través de: a) Riqueza específica, b) Índice de diversidad de Shannon, c) Índice de dominancia de Simpson, d) Índice de equidad de Pielou.

que estos tratamientos tuvieron una mejor distribución de especies (figura 2d). Se pudo determinar que en el M1, la equidad de todos era significativamente diferente ($P < 0.05$); en el M2, T3 y T1 eran significativamente diferentes ($P < 0.05$), al igual que T3 y T2; y para el M3 se encontraron las mismas diferencias del anterior muestreo y se observó que T1 y T2 también tenían diferencias significativas ($P < 0.05$).

Disimilaridad de Bray-Curtis

El índice de disimilaridad presentó diferentes asociaciones en cada muestreo. De

tal forma que después de tres meses de haber establecido las parcelas (M1), T3 y C son los que guardan una mayor semejanza entre sí (40%), seguido de T1 y T2 (23,2%), y por último T1 y T3 (2,6%) mantienen cierta similitud. Lo anterior refleja una baja similitud entre los tratamientos (figura 3a).

Después de seis meses de la aplicación de los tratamientos (M2), se evidencia que los tratamientos T1 y T3 son los más similares (23,2%), después están T1 y T2 (15,1%), y finalmente T1 y C (2,5%); sin embargo, se mantienen bajos los valores de similitud, lo cual indica que los tratamientos son muy

diferentes entre sí y lo son aún más comparados con el Control (figura 3b).

Para el M3 (después de nueve meses del establecimiento de las parcelas), se obtiene un resultado interesante, puesto que los tratamientos están agrupados de forma consecutiva de mayor a menor proporción de biosólido, es decir, los tratamientos que tienen mayor cantidad de biosólido (T2 y T3) poseen la mayor similitud con un 36,4%; le siguen T2 y T1 (27,6%) que poseen un menor contenido de biosólido y por último están T1 y C (4,4%), cuya proporción de biosólido es baja y nula respectivamente (figura 3c).

A pesar de que en el último muestreo se presenta un incremento de la similitud entre los tratamientos, los porcentajes aún son

bajos, lo cual indica que las diferencias entre los tratamientos persisten. De igual manera, se observa que el control se diferencia cada vez más de los tratamientos con biosólido.

Atributos vitales

Los resultados de los atributos vitales se resumen en la tabla 4; sin embargo, es preciso aclarar que los datos relacionados con la capacidad de tolerancia de las especies, obedecen principalmente a las características que presentaron las especies durante el período de muestreo y que estuvieron relacionadas con las condiciones específicas del lugar (microclima, sustrato, vegetación adyacente, etc.), de modo que los resultados de esta investigación representan un caso puntual y no se presentan como datos

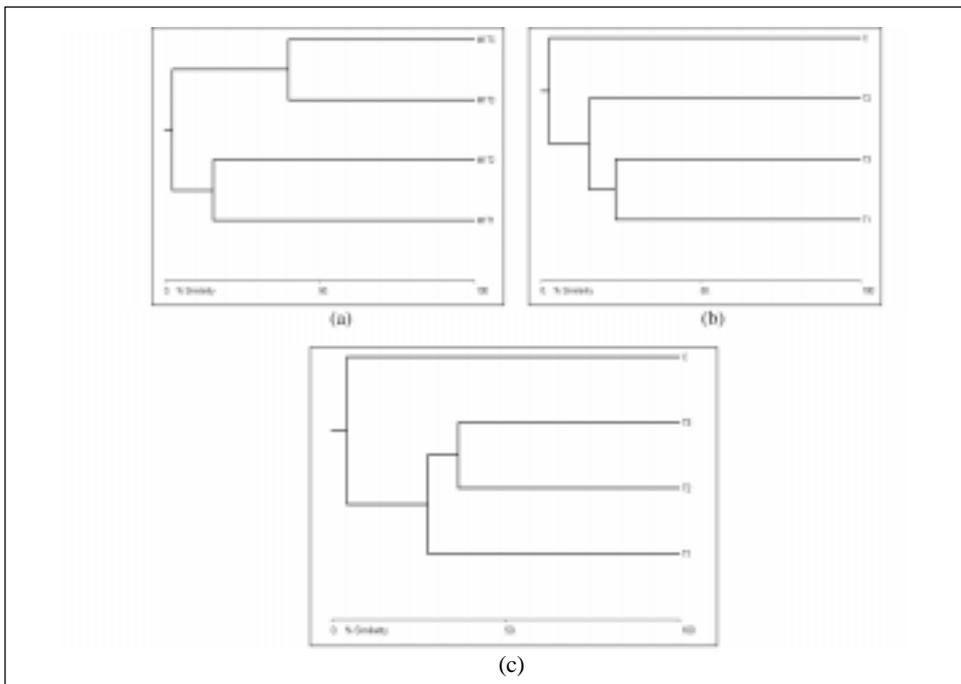


FIGURA 3. Dendrograma de Bray-Curtis entre los tratamientos: a) primer muestreo (M1), b) segundo muestreo (M2), c) tercer muestreo (M3).

absolutos, ya que una misma especie puede considerarse como tolerante o intolerante, dependiendo de las condiciones en las que se desarrolla (tabla 4).

DISCUSIÓN

Composición florística

Los resultados obtenidos mediante los listados florísticos, evidencian que las especies encontradas tanto en las parcelas con biosólido como en las control, fueron ruderales, lo cual concuerda con lo señalado en los estudios de Skousen y Clinger (1993) y Moreno-Peñaranda *et al.* (2004), quienes afirman que este tipo de vegetación es común después de la aplicación de biosólidos. Además, la composición de especies fue similar en los tratamientos, durante todo el tiempo de seguimiento, especialmente en los muestreos 2 y 3. Chapin III (1980), también considera que las especies ruderales y competitivas explotan mejor los hábitats de fertilidad moderada a alta.

Igualmente, los lugares que poseen suelos pobres en nutrientes y son sometidos a la adición de nutrientes, son fácilmente invadidos por especies exóticas (Hobbs & Huenneke, 1992), como se evidenció en el presente estudio.

Es importante anotar que las especies que se desarrollaron primero, fueron esencialmente del estrato herbáceo, con dominancia de los pastos. Estos resultados son consecuentes con la teoría de la sucesión, que establece que el primer estado sucesional se compone de hierbas anuales y perennes (Noble & Slatyer, 1980; Mooney & Gulmon, 1983; Grime, 1989).

Cabe anotar que las especies *Baccharis latifolia* y *Morella parvifolia* se establecieron en los tratamientos que contenían biosólido y no se presentaron en el trata-

miento control; esto indica que la aplicación de biosólido en pequeñas cantidades, podría favorecer el establecimiento de especies arbustivas, y por lo tanto, el proceso de sucesión vegetal puede acelerarse con la aplicación de bajas cantidades de biosólido.

Por otra parte el índice de Bray-Curtis confirma que la composición florística que se desarrolló naturalmente en el control fue diferente de la encontrada en los tratamientos con biosólido, puesto que el porcentaje de similitud fue muy bajo.

Cobertura

El porcentaje total de cobertura fue notablemente más elevado en las parcelas que presentaban algún contenido de biosólido comparadas con el control. Lo anterior concuerda con estudios que utilizan este tipo de enmienda orgánica, la cual contribuye al mejoramiento de las condiciones del suelo (Navas *et al.*, 1999; Amézquita, 2002; Pérez, 2002; Martínez *et al.*, 2003; Pacheco & Patiño 2003; Moreno-Peñaranda *et al.*, 2004). Sin embargo, el aumento de la cobertura no fue proporcional al aumento del biosólido, mostrando que el aumento estuvo más ligado al tipo de especies que a la misma cantidad de biosólido.

Es importante destacar que el análisis de varianza (ANOVA), muestra que existen diferencias significativas entre el Control y los demás tratamientos lo cual demuestra que la adición de esta enmienda orgánica en bajas proporciones, tiene un efecto significativo sobre el desarrollo de la cubierta vegetal.

Cabe anotar que en cada tratamiento y en el control, la cobertura fue dominada por diferentes especies, es decir, las especies que cubrían una mayor área en unos tratamientos, en otros, presentaron una menor cobertura. Lo anterior revela que, la aplicación

de biosólidos en diferentes proporciones tiene distintos efectos sobre un mismo tipo de vegetación, en términos de cobertura.

Contrario a lo que se pensaría, la mayoría de especies tuvo un mejor desarrollo de la cobertura en T1 y T2, y no en T3 que es el tratamiento con mayor porcentaje de biosólido. Este resultado podría deberse al efecto de la disposición espacial de las parcelas, ya que dos de ellas correspondientes al T3 se encontraban alejadas de las áreas con mayor cobertura vegetal, que a la vez suponen una mayor fuente de propágulos. De igual manera dichas parcelas posiblemente tuvieron una mayor exposición al viento que se producía con más fuerza en el costado sur del área experimental, lo cual pudo influir en el reclutamiento de propágulos. Sin embargo, no se descarta que la aplicación de una mayor proporción de biosólido, haya sido la causa directa del comportamiento de la vegetación, que registró valores de riqueza y cobertura menores a los evaluados en T1 y T2. Por otra parte, el tiempo de seguimiento (nueve meses) fue muy corto, de manera que no es posible asegurar que las variables de riqueza y cobertura seguirán siendo mayores en T1 y T2 respectivamente, ya que esta condición podría cambiar con el tiempo.

Altura

Los resultados muestran que las diferencias en el crecimiento vertical de las especies corresponden al tipo de vegetación y su respuesta a la adición de diferentes proporciones de biosólido. Es decir, que no hay un patrón único de crecimiento, sino que cada especie responde de forma diferente a cada tratamiento. También se puede apreciar una relación estrecha entre cobertura y altura, es decir, una especie que se desarrolla mejor en un tratamiento presenta un mayor crecimiento vertical y horizontal.

Por otra parte en el T3 se registró un mayor contenido de bases totales, lo cual pudo afectar la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas, ya que las sales disueltas dificultan la absorción de agua por parte de las semillas y raíces (Marchiol *et al.*, 1999).

Riqueza, diversidad y dominancia

Las observaciones hechas a lo largo del estudio revelan una tendencia hacia el aumento de la riqueza y la diversidad de especies con el tiempo, lo cual es consistente con los estudios de sucesión vegetal (Noble & Slatyer, 1980; Lepš *et al.*, 2000; Guo, 2004). No obstante el aumento tanto de la riqueza como de la diversidad no es proporcional al aumento del porcentaje del biosólido, de hecho los mayores valores los tiene el tratamiento T1.

La riqueza de especies fue una de las variables que aumentó en el tiempo, debido a que cuando las condiciones del hábitat mejoran, incrementa el arribo de especies al lugar (Connell & Slatyer, 1977; Jha & Singh, 1991).

Los resultados de diversidad concuerdan con la afirmación de que los suelos fertilizados tienen una disminución de la diversidad de especies (Acuña, 2002; Martínez *et al.*, 2003; Moreno-Peñaranda *et al.*, 2004). Sin embargo, la baja diversidad obtenida en el control muestra que las condiciones del sustrato remanente de la explotación de la cantera, tampoco son favorables para el desarrollo de una comunidad vegetal diversa.

El biosólido ejerce un efecto significativo sobre la vegetación, medido a través de la riqueza, equidad y dominancia. Prueba de ello es que en el segundo y tercer muestreos, el Control se diferencia de los demás tratamientos en alguna o en todas las variables

mencionadas; mientras que los tratamientos con biosólido guardan semejanzas en la riqueza, pero la distribución de la abundancia de especies es diferente entre ellos.

Atributos vitales

De acuerdo con las observaciones hechas en este estudio, se puede apreciar la marcada dominancia y persistencia de especies DT (dispersadas por semillas – generan un banco de semillas, y son tolerantes), que están a lo largo del estudio, lo cual se debe a que las especies que llegan inicialmente a los tratamientos, son especies ruderales y pioneras, que toleran un amplio rango de condiciones y por lo tanto pueden adaptarse a las condiciones presentes al inicio del experimento, caracterizadas por altas temperaturas en el día y bajas en la noche, así como fuertes vientos. Además de lo anterior, las especies encontradas en C y T1 están adaptadas a suelos con una limitada cantidad de materia orgánica, nutrientes y una baja humedad.

También se observó una marcada dominancia por parte de las especies perennes. Esto se explica porqué en los sitios con bajos nutrientes, en este caso las parcelas control, las especies mejor adaptadas son perennes, debido a que éstas tienen una baja tasa de absorción de nutrientes (Chapin III, 1980); Mientras que en los tratamientos con biosólido, la presencia de hierbas perennes y arbustos de las primeras etapas sucesionales, se puede deber a que este tipo de vegetación tiene un crecimiento rápido que está asociado a condiciones fértiles del suelo y donde la vegetación tiene poca perturbación, como lo propone Grime (1989).

CONCLUSIONES

La riqueza, diversidad, altura y cobertura, aumentaron en el tiempo, tanto en los tratamientos como en el control, pero el aumento no fue proporcional a la adición de biosólido.

El tratamiento que produjo una mejor respuesta de la vegetación en términos de cobertura fue T2, que consistió en cuatro partes de estéril por una de biosólido; mientras que el T1 (ocho partes de estéril por una de biosólido), fue el que obtuvo una mayor diversidad y riqueza de especies.

Los biosólidos pueden ser usados como enmienda orgánica para la recuperación de suelos degradados por la minería.

Los resultados de este estudio arrojan indicios de los beneficios que el biosólido genera sobre la vegetación, en áreas disturbadas por la actividad minera; no obstante, es necesario continuar con este tipo de investigaciones con el fin de determinar cuál es la proporción óptima de biosólido que debe ser usada para restaurar canteras que se ajusten a las condiciones evaluadas, de manera que a futuro proporcionen las bases para generar políticas de restauración.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA) que financió el proyecto, en especial a Sandra Montoya. De igual manera, expresamos nuestro agradecimiento a Bogotana de Aguas y Saneamiento (BAS).

Tabla 4
Síntesis de los atributos vitales, pertenecientes a las especies que se establecieron sobre los tratamientos y el control

Especie	Atributos vitales															
	Mucosio			1. Método de penetración y arraigo						2. Capacidad de establecimiento y maduración				3. Periodo de vida		
	MI	ME	MU	Dispersión (D)	Almacenamiento (S)	D+S+D	Principales formas de dispersión				Tolerante	Intolerante	De condiciones especiales	Perenne	Anual	Bisual
							Autocoria	Zoocoria	Hidrocoria	Antocoria						
<i>Polygonum limbatum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X			X			X		
<i>Eubryonia adactylos</i>	X	X	X	X	X	X	X	X			X			X		
<i>Panicum clandestinum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X			X			X		
<i>Poa annua</i>			X	X	X	X	X	X			X				X	
<i>Rigida lili</i>	X	X	X	X	X	X	X				X			X		
<i>Pipocleris sulcata</i>	X	X	X	X	X	X	X				X			X		
<i>Ischaemum affinale</i>			X	X			X				X			X		
<i>Sonchus oleraceus</i>			X	X	X	X	X				X				X	
<i>Gnaphalium spicatum</i>		X	X	X			X					X			X	X
<i>Panicum acrothela</i>		X	X	X	X	X	X	X	X		X			X		
<i>Sporobolus arvensis</i>	X	X	X	X	X	X		X				X			X	
<i>Abutilon theophrasti</i>			X	X	X	X		X				X	X			
<i>Cyperus rotundus</i>	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X			X		
<i>Morella parvifolia</i>		X	X	X				X			X			X		
<i>Pipturus unguis-pedum</i>		X		X				X				X	X			
<i>Baccharis latifolia</i>			X	X			X					X	X			

Fuente: Pérez-Arbeláez (1936); Martínez (1950); Sáenz (1953); Crowder (1960); Conrad (1962); Holm *et al.* (1977); Cervantes (1988); Grime *et al.*, (1988); Montes & Eguiluz (1996); Parra (1998); Sagástegui & Leiva (1998); Salamanca & Camargo (2000); Ríos (2001); Díaz (2003); CAR (2004).

LITERATURA CITADA

ACUÑA, I.S. 2002. *Efecto de la aplicación de macronutrientes (N,P,K) sobre las primeras etapas sucesionales en potreros abandonados de alta montaña tropical (Reserva Forestal de Cogua, Cundinamarca)*. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C. 159 págs.

ALCAÑIZ, J.M.; ORTIZ, O.; COMELLAS, L.; PUJOLÁ, M. & SERRA, E. 1998. Utilización de Lodos de depuración en la rehabilitación de suelos de canteras. *Ingeopres* (59): 28-34.

AMÉZQUITA, C.G. 2002. *Evaluación del uso de biosólidos de la planta El Salitre*

como sustrato en procesos de recuperación de suelos y revegetalización - Cantera La Fiscala. Trabajo de grado. Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de la Salle. 85 págs.

ARIAS, M.A. 2005. *Caracterización florística y estructural de la vegetación vascular en áreas con diferente Condición de abandono (cantera Soratama, localidad de Usaquén - Distrito Capital)*. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C.

CERVANTES, C. 1988. Las malezas, en *Colombia sus gentes y regiones*. IGAC. Bogotá. 235-246.

- Chapin III, F.S. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 233-260.
- CONNELL, J.H. & SLATYER, R.O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist* 111 (982): 1119-1144.
- CONRAD, W. 1962. *Weeds*. Second edition. The Macmillan Company. 560 pp.
- Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR). 2004. *La vegetación del territorio CAR*. Bogotá. 96-97.
- CORREA, A. & CORREA, J.D. 2003. Recuperación morfológica y ambiental de la antigua cantera Soratama, en Curso Internacional de Restauración Ecológica de canteras y el uso de Biosólidos. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C. 1-34.
- CROWDER, L.V. 1960. Gramíneas y leguminosas forrajeras en Colombia. Ministerio de Agricultura de Colombia. Oficina de Investigaciones especiales. *Boletín técnico*, No. 8. Bogotá, 110.
- DELGADO, A & MEJÍA, M. 2002. Apoyo a las actividades de evaluación y seguimiento de la industria extractiva en el Distrito Capital. Alcaldía Mayor de Bogotá. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente. Bogotá.
- DÍAZ, A.M. 2003. *Competencia entre pastos exóticos y plantas nativas*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 96 págs.
- ESLAVA, J.A.; LÓPEZ, V.; OLAYA, G. 1986. Los climas de Colombia (Sistema de Caldas - Lang). *Atmósfera* 7: 41-77.
- Fundación Restauración de Ecosistemas Tropicales (FRET). 2001. *Utilización de biosólidos de depuración en la rehabilitación de suelos*. Documento Interno. Bogotá. 26-44.
- GARCÍA, C. 2001. Nuevos usos para el reciclado en el suelo de residuos urbanos: biocontrol en agricultura sostenible; recuperación de suelos degradados, en I Encuentro Internacional Gestión de residuos orgánicos en el ámbito rural mediterráneo. 1-7.
- GRIME, I.D.; HODGSON, J.G.; HUNT, R. 1988. *Comparative plant ecology. A functional approach to common British species*. Unwin Hyman. London. 742 pp.
- GRIME, J.P. 1989. *Estrategias de adaptación de las plantas y procesos que controlan la vegetación*. Editorial Limusa, S.A. México, D. F. 291 pp.
- GUACANEME, S.M. 2005. *Efecto de la aplicación de biosólidos en diferentes proporciones en la recuperación de un suelo disturbado por actividad extractiva*. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.
- GUO, Q. 2004. Slow recovery in desert perennial vegetation following prolonged human disturbance. *Journal of Vegetation Science* 15: 757-762.
- HOBBS, R.J. & HUENNEKE, L.F. 1992. Disturbance, diversity, and invasion: implications for conservation. *Conservation Biology* 6(3): 324-337.
- HOLM, L.R.; DOLL, J.; HOLM, E.; PANCHO, J.; HERBERGER, J. 1977. *World weeds. Natural histories and distribution*. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York. 1129 pp.

- Jha, A.K. & Singh, J.S. 1991. Spoil characteristics and vegetation development of an age series of miner spoils in a dry tropical environment. *Vegetatio* 97: 63-76.
- LEPŠ, J; MICHÁLEK, J.; RAUCH, O.; UHLÍK, P. 2000. Early succession on plots with the upper soil horizon removed. *Journal of Vegetation Science* 11: 259-264.
- MAGURRAN, A.E. 1989. *Diversidad ecológica y su medición*. Primera edición. Ediciones Vedral. Barcelona, España, 200 pp.
- MAHECHA, G.E. 1997. Fundamentos y metodología para la identificación de plantas. Ministerio del Medio Ambiente – Proyecto Biopacífico. Santa Fe de Bogotá, 282 pp.
- MARCHIOL, L.; MONDINI, C.; LEITA, L.; ZERBI, G. 1999. Effects of Municipal Waste Leachate on seed germination in soil-compost mixtures. *Restoration Ecology* 7 (2): 155-161.
- MARTÍNEZ, F.; CUEVAS, G.; CALVO, R.; WALTER, I. 2003. Biowaste effects and native plants in a semiarid ecosystem. *Journal Environmental Quality* 32: 472-479.
- MARTÍNEZ, R. 1950. Las malezas de los céspedes en la capital federal y alrededores. Publicación técnica No. 41 (nueva serie). *Investigación Agrícola*, tomo 4 (1): 1-46.
- MONTES, L. & EGUILUZ, P. 1996. *El cerro Frontera abierta*. Recorrido ecológico por el cerro de Usaquén. Santa Fe de Bogotá. 39 pp.
- MOONEY, H.A. & GULMON, S.L. 1983. The determinants of plant productivity natural versus man-modified communities. Section 4, en Mooney, H.A. & Godron, M. *Disturbance and ecosystems*. 146-157.
- MORENO, C.E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. Madrid, España. MT Manuales y Tesis SEA. 83 pp.
- MORENO-PENARANDA, R.; LLORET, F.; ALCÁÑIZ, J.M. 2004. Effects of sewage sludge on plant community composition in Restored Limestone Quarries. *Restoration Ecology* 12 (2): 290-296.
- NAVAS, A.; MACHÍN, J.; NAVAS, B. 1999. Use of biosolids to restore the natural vegetation cover on degraded soils in the badlands of Zaragoza (NE Spain). *Bioresource Technology* 69: 199-205.
- NOBLE, I.O & SLATYER, R.O. 1980. The use of vital attributes to predict successional changes in plant communities subject to recurrent disturbances. *Vegetatio* 43: 5-21.
- PACHECO, L.F & PATIÑO, M. 2003. *Evaluación de la aplicación de biosólidos producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre en la revegetación del relleno sanitario Doña Juana*. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C. 113 pp.
- PARRA, C.A. 1998. *Taxonomía del género Myrica (Myricaceae) en Colombia*. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Santa Fe de Bogotá. 251 pp.
- PÉREZ, M. 2002. *Evaluación del potencial de biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales en el desarrollo, crecimiento y producción del cultivo de rábano rojo Raphanus sativus*. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana.

- PÉREZ-ARBELÁEZ, E. 1936. *Plantas útiles de Colombia*, tomo I. Generalidades criptógamas, gimnospermas y monocotiledóneas. 172 pp.
- RAMÍREZ, A. 1999. *Ecología aplicada. Diseño y análisis estadístico*. Fundación Universidad de Bogotá. Jorge Tadeo Lozano, 325 pp.
- RÍOS, H.F. 2001. *Eliminación de la especie invasora Ulex europaeus L. (Fabaceae) como estrategia experimental de Restauración de la vegetación en el cerro de Monserrate*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. 171 pp.
- SÁNCHEZ, J.P.; MORENO, O.; GAMBA, J. 2003. Caracterización de la vegetación y suelos en la cantera Soratama - Usaquén. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA). Documento interno. Bogotá, 202 pp.
- SÁENZ, A. 1953. *Los forrajes de Costa Rica*. Editorial Universitaria. San José, Costa Rica. 606 pp.
- SAGÁSTEGUI, A. & LEIVA, S. 1998. *Flora invasora de los cultivos del Perú*. Primera edición, CONCYTEC. Editorial Libertad Eirl.
- SALAMANCA, B. & CAMARGO, G. 2000. *Protocolo distrital de restauración ecológica. Guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Bogotá*. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA -. Bogotá. 288 pp.
- SKOUSEN, J. & CLINGER, C. 1993. Sewage sludge land application program in West Virginia. *Journal of Soil and Water Conservation* 48(2): 145-151.
- SORT, X. & ALCAÑIZ, J.M. 1996. Contribution of Sewage Sludge to Erosion Control in the rehabilitation of Limestone Quarries. *Land Degradation and Development* 7: 69-76.

Recibido: 30-11-2006
Aprobado: 15-05-2007

