

Estudio preliminar de aplicación de biosólidos en suelos para control de erosión y estabilización de taludes

J.C. Castro Ruiz

Universidad de los Andes, Bogota DC, Colombia

RESUMEN: Un ensayo preliminar en campo de aplicación de un biosólido procedente de un sistema de tratamiento de agua residual de una industria cervecera, fue realizado, con objeto de determinar el efecto de este tipo de material, como sistema de control de erosión y como ayudante del proceso de estabilización de taludes. Este biosólido se aplicó sobre un talud de vía con un espesor de 5 cm. La aplicación se realizó con dos diferentes dosis: una dosis pura (biosólido 100%) y otra dosis con 50 % de biosólido y 50 % de material de la excavación. Sobre cada una de estas aplicaciones se sembró pasto de tipo *Olium Multiflorium*, obteniéndose un mejoramiento de las condiciones físicas y químicas de los suelos y un crecimiento notable del pasto. El crecimiento de pasto sobre el talud permite una mejora en el control de la erosión superficial y en la estabilización del talud.

ABSTRACT: A preliminary test in field of application of biosolid coming from a brewing wastewater treatment plant, was made with object to determine the effect of this type of material, as system of erosion control and as assistant of the process of stabilization of slopes. This biosolid was applied on a slope of a via with a thickness of 5 cm. Applications were made with two different doses: a pure dose (biosolid 100%) and another dose with 50 % of biosolid and 50 % of material of the excavation. On each one of these applications grass of type "Olium Multiflorium" was seeded, obtaining an improvement of the physical training conditions and chemical of grounds and a remarkable growth of the grass. The growth of grass on the slope allows an improvement in the control of the superficial erosion and in the stabilization of the slope

1 INTRODUCCIÓN

El biosólido es un material originado después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de las aguas residuales. La estabilización del lodo se realiza para reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores. Gracias a este proceso, el biosólido puede tener aptitud para utilización agrícola y forestal, y para la recuperación de suelos degradados.

Los biosólidos pueden incrementar la fertilidad del suelo, contribuir a la cadena de reciclaje, enri-

quecer y mejora las características de textura del suelo a través de una variedad de nutrientes, especialmente nitrógeno (N) y fósforo (P), nutrientes que generalmente se encuentran en forma limitada en los suelos¹. En un corto plazo la adición de biosólidos puede mejorar la productividad del suelo ya que este entrega virtualmente un suministro inmediato y necesario para el desarrollo de la planta. En suma, las partículas finas y orgánicas del biosólido pueden incrementar características tales como humedad y disponibilidad de nutrientes. En el largo

¹ EPA, folleto informativo de tecnología de biosólidos, aplicación de biosólidos al terreno, Sep 2000

plazo el biosólido realiza una continua y lenta liberación de nutrientes al sustrato.

La aplicación de biosólidos también puede realizarse en la protección y restauración de taludes y en la restauración ecológica, pero es importante tener en cuenta para la recuperación o la rehabilitación de los suelos, el comportamiento del ecosistema: 1) la vegetación, que se basa principalmente en la sucesión vegetal, la cual es un proceso por el cual las especies vegetales se reemplazan unas a otras a través del tiempo en un área determinada (Pickett & White, 1985; Margalef, 1995; Salamanca & Camargo, 2000; Barrera & Ríos, 2002); 2) la fauna, medida en el repoblamiento inicial de organismos de la edo-fauna y de los insectos, 3) los suelos, basados en la recomposición original o similar de la estructura y composición (Bradshaw, 1983; Salamanca & Camargo, 2000; Barrera & Ríos, 2002).



Figura 1. Biosólido de la PTAR, en su estado inicial

En la protección de taludes originados por la intervención o actuaciones en terrenos para nuevas construcciones o solamente como movimientos de tierras, se debe hacer una nueva adecuación geomorfológica al suelo, ya sea con el mismo suelo extraído en un principio cuando comenzaron los trabajos o por medio de la implementación de enmiendas orgánicas (por ejemplo con biosólidos). En la práctica normal posteriormente se planta cierto tipo de vegetación que posea características típicas de la región, las cuales le implementaran focos de expansión de la vegetación, por medio de la creación de núcleos y corredores de actividad biológica, que incluya dos variables: tanto el potencial biótico (banco de semillas), como la oferta ambiental (agua, clima, etc). (IGME, 1989; Salamanca & Camargo, 2000; DAMA, 2001).

Este proceso de recuperación y restauración se realiza puesto que la regeneración natural de un talud es a mediano y largo plazo debido a que las condiciones que se presentan generalmente no son óptimas para tal fin, por tanto se requiere de ayudas o enmiendas para que contribuyan en la formación del suelo. Un suelo es un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos bajo la influencia de factores formadores (clima, pendiente, medio biológico).

Se puede decir que un suelo consta de dos partes: 1) una fracción mineral, que incluye un porcentaje de arcillas, limos y arenas las cuales contribuyen en la estabilidad del suelo y 2) otra orgánica, la cual incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que habitan en el suelo y sustancias producidas por organismos del suelo (Porta, 1993; Klim, 1996).

Tanto la fracción mineral, como la materia orgánica influyen en la conformación del suelo, el cual contiene determinadas características físicas tales como: densidad aparente, densidad real, porosidad, textura, humedad, permeabilidad, granulometría y estabilidad estructural entre otros. Dichas características permiten inferir sobre la estructura del suelo, para mantener a la vegetación y los organismos del suelo (Porta, 1993; Klim, 1996).

A la vez todo suelo posee características químicas tales como pH, conductividad eléctrica, capacidad intercambio catiónico, saturación de bases intercambiables, macronutrientes (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio) y micronutrientes (hierro, boro, zinc, cobre, manganeso, molibdeno y cloro). Dichos nutrientes son muy importantes, ya que cada uno de estos elementos, tiene su función bien definida en la planta para su crecimiento y desarrollo normal y su deficiencia o exceso en el suelo causa trastornos fisiológicos (Álvarez, 1979; Porta, 1993; Klim, 1996).

La norma 40 CFR (503) define dos tipos de biosólidos con respecto a la reducción de agentes patógenos²: biosólidos clase A y clase B, dependiendo del grado de tratamiento que los sólidos hayan recibido.

² EPA, folleto informativo de tecnología de biosólidos, aplicación de biosólidos al terreno. sep. 2000

Los dos tipos son adecuados para la aplicación en el terreno, pero se imponen requisitos de utilización adicionales en la clase B. Estos se detallan en la norma CFR503³, las cuales incluyen actividades tales como el acceso restringido del público al terreno de aplicación, la limitación del consumo por el ganado y el control de los periodos de cosecha.

Los biosólidos de la clase A (biosólidos tratados de tal manera que no contengan agentes patógenos a niveles detectables)⁴ no están sujetos a estas restricciones. Dentro del presente estudio no se realizaron actividades de caracterización para estos dos tipos de lodos, partiendo que el lodo de la cervecería es de origen orgánico.

En vista de las potenciales ventajas del uso de biosólidos para la recuperación de suelos, se decidió realizar un estudio preliminar utilizando lodos de una industria cervecera, los cuales cumplen las características esenciales para poder ser utilizados como mejoradores de suelo.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Lodo

Los lodos de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Cervecería Leona (del Municipio de Tocancipá) son el producto del tratamiento de aguas residuales (compuesta por aguas de producción, aguas de lavado y aguas del sistema de alcantarillado interno domestico) del proceso de la industria de bebidas, con una producción diaria de 35.0 m³. Esta es una planta que utiliza tecnología de reactor UASB complementada con un pulido aerobio y un tratamiento de desnitrificación del agua; en su proceso final con un sistema DAF (dissolved air floatation) que disminuye el contenido de sólidos del efluente tratado.

Los lodos que produce la PTAR no tienen ningún tratamiento, es decir luego del tratamiento de las aguas residuales, este lodo sale de la banda prensa al sitio de disposición, fueron caracterizados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad

versidad de los Andes, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 1. Resultado análisis de laboratorio de lodo

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO
Cenizas	% -BS	40.9	
Fósforo	% - BH	< 0.004	SM 4500-P B
Humedad	%	89.6	
NTK	% - BH	0.39	SM 4500-N _{org} C
pH	pH.	7.5	SM 4500-H ⁺ B
ST	% -BS	10.4	SM 2540- B
SV	%	59.1	SM 2540-E

2.2 Zona de Aplicación

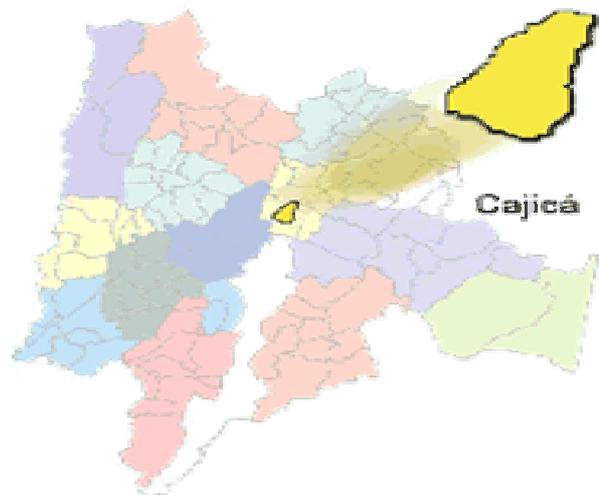


Figura 2. Zona de aplicación. Municipio de Cajicá. (tomado de www.cundinamarca.gov.co)

Tabla 2. Datos del municipio de Cajicá

Provincia	Sabana Centro
Altitud (m)	2558
Temperatura (°C)	14°
Distancia Bogotá (Km.)	39
Habitantes	40.158

La aplicación se realizó en el municipio de Cajicá, en el sector rural, en la vía que conduce del casco urbano al sector de La cumbre, sobre un talud de longitud total de 350 m. para construcción de vía en adoquín (Foto 2).

³ EPA, estándares para la aplicación y disposición de lodos de aguas residuales (40 CFR part. 503 Rule: Standard for the use and Disposal of Sewage Sludge)

⁴ EPA, estándares para la aplicación y disposición de lodos de aguas residuales (40 CFR part. 503 Rule: Standard for the use and Disposal of Sewage Sludge)



Figura 3. Estado inicial del talud a intervenir

2.3 Método de aplicación

Luego de seleccionar el área a intervenir, se estableció que la cantidad de biosólido a transportar y a aplicar fuese de 21.0 m^3 .

El transporte de los biosólidos se realizó en volquetas de capacidad de 7.0 m^3 , para un total de tres viajes de biosólidos, entregados por la cervecería para la prueba piloto. Se transportaron desde la planta ubicada en el municipio de Tocancipá (vía Bogota – Tunja), hasta el municipio de Cajicá (sitio de aplicación) en una distancia aproximada de 25.0 km. El material fue ubicado en el sitio de acuerdo a lo planeado con la coordinación de la Secretaría de Obras Públicas del municipio, en una vía cercana al sitio de aplicación, distante 150 m.

Adecuación del Talud. Para la recuperación del talud en la vía que se construyó (en el tramo Manas – La Cumbre) se realizó una limpieza de material diferente a la excavación realizada, ya que por el momento el área se encontraba desprotegida de todo tipo de material vegetal. La aplicación del material se realizó como si se tratase de un pañete sobre el talud de tierra.



Figura 4. Aplicación del Biosólido, en forma de pañete

Nivelación del terreno. El área de recuperación, se limpió desplazando materiales sobrantes, intentando garantizar una pendiente mínima o semejante al área circundante; para el sector de la recuperación del talud se realizó un desmante para que las pendientes de este fuesen regulares.

Delimitación del área experimental. El área de aplicación tuvo medidas de 204.0 m de largo, por una altura variable entre 1.0 m y 1.40 m

Tabla 3. Esquema general de taludes, geometría y pendientes, en un material franco-arcilloso.

ABSCISA: K0 +00 AL K0+30
Se colocó mezcla 50 % - 50% (biosólido-material de la excavación)
ABSCISA: K0 +30 AL K0+60
Se colocó mezcla 50 % - 50% (biosólido-material de la excavación)
ABSCISA: K0 +60 AL K0+85
Se colocó mezcla 100% (biosólido)
ABSCISA: K0 +85 AL K0+100
Se colocó mezcla 50 % - 50% (biosólido-material de la excavación)
ABSCISA: K0 +100 AL K0+130
Se colocó mezcla 50 % - 50% (biosólido-material de la excavación)
ABSCISA: K0 +130 AL K0+210
Se colocó mezcla 50 % - 50% (biosólido-material de la excavación)

2.4 Métodos analíticos

En este estudio preliminar de aplicación de biosólidos se sembró el pasto tipo *Olim Multiflorium*

un día después de colocado el biosólido, con un espesor de capa de 5 cm. del biosólido, en tres diferentes sitios:

- En un área a la cual no se aplicó lodo, es decir en una cara del talud sin intervenir (línea base).
- En un área donde se aplicó lodo al 100 %
- En un área donde se aplicó una relación de uno a uno de lodo (50 %) y material de la excavación (50%)

Se realizó un análisis estadístico, con medida de posición donde se observó la tendencia de aumento en las propiedades físico-químicas de los suelos, en la distribución binomial, el resultado se clasificó como exitoso y en la distribución muestral los resultados fueron efectivos.

Los análisis de las muestras de suelos fueron subcontratados a laboratorios AGRILAB (servicios ambientales y agrícolas). Los métodos analíticos de laboratorio utilizados en este estudio se resumen a continuación.

Tabla 4 Metodologías analíticas de laboratorio.

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO
Carbón Orgánico	Walkley-Black. Colorimetría
pH	Pasta de saturación
Conductividad Eléctrica	Extracto de Saturación
Saturación Humedad	Con base en el peso húmedo
C.I.C.E	Suma de cationes
P-Fosfatos	Bray II. Colorimetría
N-Amoniaco	Extracción con cloruro de sodio. Colorimetría
N-Nítrico	Extracción con acetato de sodio. Colorimetría
S-Sulfatos	Extracción fosfato monocálcico. Turbidimetría
Potasio, Calcio, Magnesio,	Extracción Acetato de Amonio.
Sodio	Absorción atómica
Aluminio	Extracción con cloruro de potasio. Volumétrica
Hierro, Manganeso, Cobre,	Método de Melnich. Absorción atómica
Zinc.	
Boro	Extracción con fosfato monocálcico. Colorimetría

3 RESULTADOS

Se realizó un seguimiento detallado a cuatro (4) áreas (de 1,0 m x 1,0 m) a lo largo del talud, como específicas para lograr hacer seguimiento a la aplicación del lodo. De forma similar se realizó el seguimiento fotográfico a cada una de estas zonas, donde se observó el buen resultado de la aplicación de 50% de biosólido con 50 % de material de la ex-

cavación, con fijación del material al talud y buen crecimiento del pasto. En la aplicación de 100 % de biosólido, este se derrumbó a los pocos días, por resecamiento y cuarteamiento del material (Gráfico 1).

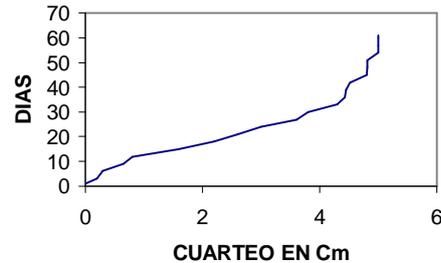


Gráfico 1. Análisis del cuarteamiento del material colocado (mezcla 50 % - 50 %)

A continuación se describen las observaciones realizadas en cada uno de las 4 áreas.

Tabla 5. Áreas de seguimiento y observación.

Área	Localización
1	K 0 al K 0+30 m
2	K0 + 30 m al K 0+70 m
3	K0 + 70 m al K 0+110 m
4	K0 + 110 m al K 0+175 m

Área No 1



Figura 5. Estado a 30 días de colocado el biosólido en el área No 1

Tabla 6 Seguimiento y observaciones Áreas 1, 2,3 y 4

	Área No1	Área No 2	Área No 3	Área No 4
Tiempo de Aplicación (días)	Observación/ Caracterización	Observación/ Caracterización	Observación/ Caracterización	Observación/ Caracterización
	Talud de 85 a 89 grados - Aplicación 50 % lodo - 50% material de la excavación	Talud de 625 a 65 grados - Aplicación 100 % de lodo (puro)	Talud de 50 grados - Aplicación 50 % lodo - 50% material de la excavación	Talud de 66 grados - Aplicación 50 % lodo - 50% material de la excavación
2	Se observa el inicio del cuarteamiento del material	Se observa el inicio del cuarteamiento del material	Se observa el inicio del cuarteamiento del material	Se observa el inicio del cuarteamiento del material
7	Se observan algunas especies atraídas y pasto kikuyo	Se empieza a caer el material por desecación, al no poder adherirse el material a la pared existente	Se observa cuarteamiento del material	Medición, cuantificación y seguimiento de grietas, por la ausencia de lluvias estas grietas tienen 5 cm.
10	Crecimiento de pasto kikuyo (atraído), las semillas sembradas se precipitaron a la pata del talud, por gravedad y por la inclinación del talud	El material cae a la zona baja del talud, por no adherencia a la pared, se desmorona y cae al piso	Se observan grietas de 5 cm., por la ausencia de lluvias, aunque el material conserva humedad entre las paredes	Se conserva humedad entre las paredes, crecimiento de pasto en la pata del talud.
15	Se observan grietas de 3 y 4 cm.	Cae mas material al piso	crecimiento de pasto sembrado, se observa humedad en el lodo aplicado	crecimiento de pasto sembrado, se observa humedad en el lodo aplicado
25	Pequeña lluvia que aumento la humedad en el lodo, ayudando a un almacenamiento temporal del agua	Pequeña lluvia que ocasiona mas desprendimiento de material	En la pata del talud el crecimiento del pasto es inminente, pastos de 10 y 15 cm. de altura	En la pata del talud el crecimiento del pasto es inminente, pastos de 10 y 15 cm. de altura, aunque no es parejo, no hubo desprendimiento de material, permanece adjunto a la pared existente del talud.
30	A pesar de la humedad del material no se observo desprendimiento y permaneció adherido a la pared del talud	No se observa crecimiento de ninguna especie en el poco materia que queda en la pared.	Crecimiento de pasto en la pata del talud, en la parte superior, totalmente seco por ausencia de lluvias	Crecimiento de pasto en la pata del talud.

40	Se observa nuevamente el desecamiento del material, con grietas de 5 Cm.	No se observa crecimiento de ninguna especie en el poco material que queda en la pared.	Crecimiento de pasto en la pata del talud, aunque se observo crecimiento y repoblación hacia la parte superior del talud	Crecimiento de pasto en la pata del talud, aunque se observo crecimiento y repoblación hacia la parte central del talud
60	Se observan pequeños pastos (al parecer semillas que estaban en las grietas del lodo, se observa pasto de 35 cm., aunque no fue del que se sembró, sino del atraído, se empezó a poblar el talud.	Se ha caído un 80 % del material y en el poco que queda no se observa el crecimiento de ninguna planta.	El material fue humedecido por las lluvias de los últimos días del mes de mayo, el pasto tiene una altura de 35 cm., y se observa el crecimiento de pastos de la mitad del talud hacia arriba, cabe anotar que cuando iniciaron estas lluvias volvió el olor característico del lodo recién se aplico.	se observa el crecimiento de nuevos pastos (al parecer semillas que estaban dentro del biosólido). Se observo pasto de 40 cm. de altura, se inicia repoblamiento con el crecimiento de nuevos pastos. Se derrumbo un área de 25 cm. cuadrados.

Área No 2



Figura 6. Estado del biosólido puro 100 % en el área No2

Área No 3



Figura 7. Estado del biosólido a 60 días en el área No3

Tabla 7 Seguimiento y observaciones Área 3, Localización: K0+70 al K0 + 110 m

4 DISCUSIÓN

4.1 Análisis de suelos

Las observaciones realizadas en aplicación sobre el talud en la proporción 50% de biosólido y 50 % de material de la excavación fueron exitosas. Para el caso de la aplicación de 100% de lodo se observó un desprendimiento total del material, durante el periodo experimental.

Se encontró que a nivel de las propiedades físicas del suelo, el biosólido como enmienda edáfica aceleró la recuperación del suelo sobre el talud intervenido para la construcción de la vía; se observó que gracias a que el biosólido incrementó la retención y el almacenamiento del agua disponible para las plantas, se facilitó la circulación del agua, aumentó la aireación (por el cuarteamiento del material), disminuyó la compactación del suelo, aumentó la porosidad, lo cual genera estabilidad en el terreno.

El biosólido aportó gran cantidad de materia orgánica y nutrientes, lo que incrementa la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Grafico 2): (me-

dido en miliequivalentes por cada 100 gramos) potasio con un valor inicial de 0,14 me/100 g (pasó a 1,10 me/100 g (785% de aumento), el magnesio que aumentó en un 136 % (1,60 me/100 g a 2,18 me/100 g), calcio que aumentó en un 485% (3,07 me/100 g a 14,90 me/100 g).

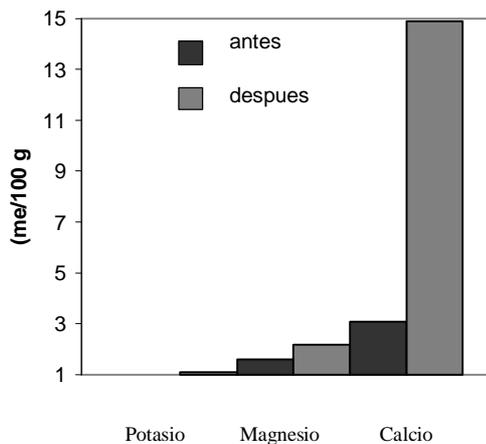


Gráfico 2. Análisis de muestras del suelo original (antes) y la mezcla suelo-biosólido (70 días después).

Finalmente el sodio aumentó en un 355 %.

La materia orgánica se relaciona con el suministro de nitrógeno a las plantas, a través de la actividad de los microorganismos (bacterias y actinomicetos, hongos y protozoos, principalmente), que descomponen los residuos orgánicos.⁵ La materia orgánica presente en la muestra inicial del suelo fue de 2,79%, mientras que al final del proceso experimental este valor aumentó hasta 3,89 %.

Al descomponerse la materia orgánica, la mayor parte del anhídrido carbónico escapa a la atmósfera, en tanto que el suelo absorbe el amonio resultante de la desintegración de las sustancias proteínicas. Este proceso se llama amonificación y los organismos responsables (especialmente bacterias) se distinguen con el nombre de amonificadores. Luego el amonio se transforma en nitritos y estos a su vez en nitratos debido a la acción de algunas pocas especies bacterianas tales como las del los géneros *nitrosomonas* o *nitrosococcus*, que transforman amonio en nitritos y *nitrobacter* que convierte nitritos en nitratos. (Suárez de Castro, 1979).

La capacidad de intercambio catiónico efectivo (C.I.C.E), aumentó de 5,14 a 19,21 me/100g, (Gráfico 2) lo cual favorece el almacenamiento e inter-

⁵ Suárez de castro F, Ed. IICA, Costa Rica, 1979, Conservación de suelos.

cambio de cationes, lo cual se relaciona con el aumento del calcio y potasio a nivel del suelo, favoreciendo la disponibilidad de estos nutrientes para un buen crecimiento del pasto sembrado.

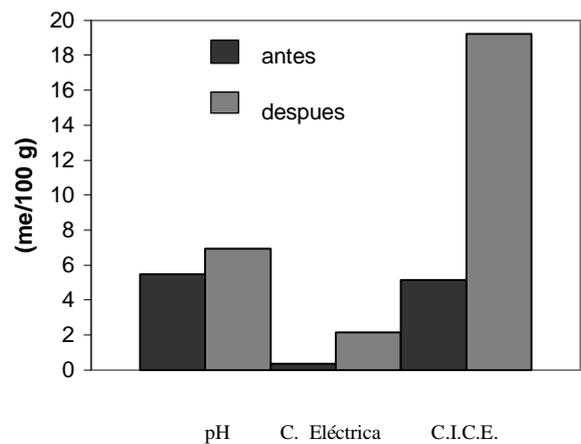


Gráfico 3 Análisis de muestras del suelo original (antes) y la mezcla suelo-biosólido (70 días después).

La conductividad eléctrica aumentó especialmente por la presencia de cloruros en el lodo. Las plantas tienen la habilidad de poder seleccionar la cantidad de diversos iones que absorben, dependiendo del requerimiento, tipo de planta cantidad de nutrientes en el suelo, y de acuerdo a las especies puede variar esta habilidad de seleccionar cada uno de los iones en particular.⁶

El pH del suelo determina la disponibilidad de los diversos elementos para la planta. Un suelo será ácido si su pH es menor que 7, neutro si tiene un valor alrededor de 7 y alcalino si su pH es superior a 7. Dado que el pH es una función logarítmica, el cambio de una unidad en el pH supone un cambio de 10 veces en la concentración de H⁺, por tanto cualquier cambio en la unidad del pH puede tener un amplio efecto para la disponibilidad de iones para las plantas, como es el caso de nuestra muestra de suelo donde el pH pasó de 5,46 a 6,92 (Gráfico 3).

Con el pH inicial del suelo hay mayor disponibilidad de micronutrientes y menor de macronutrientes, al aumentar el pH hasta 6,9 hay mayor disponibilidad de macronutrientes (N,F,K) y disminuye la disponibilidad de elementos.

⁶ Suárez de castro F, Ed. IICA, Costa Rica, 1979, Conservación de suelos.

El efecto del pH en la disponibilidad de elementos se presenta en la Figura 8; el hierro que en la primera muestra tuvo una concentración de 300 ppm pasó a 190 ppm, valor que se considera como alto en suelos; manganeso de 6 ppm aumentó a 63 ppm, mientras que el zinc varió de 2.5 ppm a 78 ppm, valor excesivamente alto.

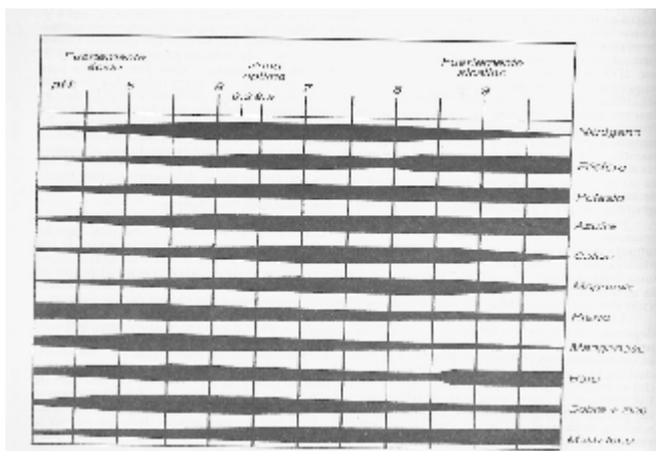


Figura 8. Efectos del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes. Resh Howard, Ed. Mundi prensa, 1997, Cultivos Hidropónicos.

Tabla 7 tipo de suelo y materiales

PARÁMETRO	VALOR MUESTRA No 1 (NOV. 11 2004)	VALOR MUESTRA No 2 (MAYO 10 2005)
Arena %	50	48
Limo %	28	32
Arcilla %	22	20

Dentro de las funciones de los elementos esenciales que se encuentran en las plantas y lo que se observado se encuentran:

Tabla 8 resultado de muestras 1 y 2, en fechas diferentes.

PARAMETRO	VALOR MUESTRA No 1 (NOV. 11 2004)	**	VALOR MUESTRA No 2 (MAYO 10 2005)	**	COMENTARIO
Potasio me/100 g	0.14	D	1.1	A	Aumento
Calcio me/100 g	3.07	M	14.9	E	Aumento

Magnesio me/100 g	1.6	M	2.18	M	Aumento
Sodio me/100 g	0.29	M	1.03	E	Aumento
Aluminio me/100 g	0.04	B	0	LD	Disminuyo
pH	5.46	B	6.92	A	Aumento
C. Eléctrica dS/m	0.33	D	2.16	A	Aumento
Sat. Humedad %	0	D	0	D	Permaneció
C.I.C.E me/100 g	5.14	B	19.21	M	Aumento
Carbono Org. %	1.62	B	2.26	M	Aumento
Hierro ppm	300	E	190	A	Disminuyo
Manganeso ppm	6	B	63	A	Aumento
Cobre ppm	1.1	B	2.4	M	Aumento
Zinc ppm	2.5	M	78	E	Aumento
Boro ppm	0.09	D	0.55	M	Aumento

** D= deficiente, B= bajo, M= medio, A=alto, E=excesivo NA= no analizado

LD= menor que limite de detección.

Tabla 9 Relación de elementos presentes en el suelo

PARÁMETRO	MUESTRA 1 11/11/04	MUESTRA 2 10/05/05
% Sat. Magnesio	31.17	11.34
% Sat. Sodio	5.57	5.38
% Sat. Aluminio	0.78	0
% Sat. Potasio	2.79	5.73
% sat. Calcio	59.7	77.56
Ca/Mg	1.92	6.84
Ca/K	21.41	13.54
Mg/K	11.18	1.98
(Ca+Mg)/K	32.6	15.51

En síntesis la aplicación del lodo mejoró las condiciones químicas del suelo, siendo el potasio, el calcio, el sodio y el magnesio los que más aumentaron en presencia como nutrientes del suelo. Los valores de bajo, medio, alto y excesivo están dados por los análisis de laboratorio realizados a los suelos (AGRILAB) y por la literatura consultada.

4.2 Germinación de pastos

La cubierta vegetal es la mejor defensa natural de un terreno contra la erosión, defiende al suelo de la acción perjudicial de las lluvias en forma y proporción diferentes, a ello se debe la fertilidad del suelo. El pasto sembrado de tipo "Olium Multiflorium", es un pasto especialmente para forraje.

El pasto inicialmente colocado sobre la cara del talud de la vía puede defender el suelo en los siguientes puntos:

- a. Dispersión directa, intercepción por el follaje y evaporación de gotas de lluvia.
- b. Transpiración, a través de los tejidos, de grandes cantidades de humedad que pasan de estratos profundos al aire, ya que sirven de capa protectora y a su vez de retracción.
- c. Efecto sujetador del sistema radicar sobre las partículas del suelo⁷, es el caso que se observó después de 70 días de colocado el pasto, donde las raíces ya pasaron los 5 cm. de suelo mezclado (proporción uno a uno de lodo y suelo), y están empezando a penetrar al suelo original del talud.
- d. Penetración de las raíces a través del perfil, las cuales al morir y descomponerse dejan numerosas cavidades tubulares que aumentan la infiltración y mejoran la aireación del suelo.
- e. Mejoramiento de la estructura del suelo y consiguiente aumento de la infiltración debido al suministro de materia orgánica, en este caso en presencia del lodo adicionado, y en los casos en que este material se puede.
- f. Aumento de la fricción superficial y dispersión lateral de la escorrentía, que así reduce su volumen y disminuye su velocidad, importante en el caso de los taludes con grandes pendientes, como los taludes de la vía donde se realizó la aplicación. (Montenegro H. y Malagon D, 1990)

Las principales observaciones realizadas sobre el pasto tipo *Olium Multiflorium* en cada una de estas tres áreas fueron:

§ Área numero uno: siembra de pasto sobre área intervenida con lodo al 100 % sobre talud. Las

semillas no lograron enraizar, ya que por el cuarteamiento del material y la ausencia de lluvias, este material se derrumbó y se erosionó.

§ Área numero dos: siembra de pasto sobre área en talud sin intervenir (es decir no se le colocó lodo). Línea base: el pasto no creció sobre el área sembrada.

§ Área numero tres: siembra de pasto sobre área intervenida con lodo (50 % de lodo y 50 % material de la excavación) relación uno a uno. Se inició la germinación del pasto aproximadamente a los 15 días, a pesar de la ausencia de lluvias presente en la zona. En esta zona a los 25 días de sembrado el pasto se observó un crecimiento de pasto a una altura de 10 cm. en promedio, a lo largo de los 200 m de talud protegido con el material.

El crecimiento del pasto inicio desde la parte baja del talud hacia arriba (ver secuencia fotográfica), esto posiblemente por la acción del viento que ayudó para que las semillas rodaran por gravedad, ya que estos taludes están entre 75 y 89 grados de inclinación.

Se observó que en el día 45 (comienzo de las lluvias) hubo un repoblamiento de 1/3 del talud hacia arriba, es decir que los pastos empiezan a ascender en el talud, como una fase dos de repoblación.



Figura 9. Aplicación del biosólido en el talud (espesor 5 cm.) y crecimiento a los treinta días.

De igual forma se observó que por el incremento de las lluvias se presentaron de nuevo los olores (iguales a los que en la primera semana de aplicación), pero en el tercer día desaparecieron, posiblemente por el rehumedecimiento del material y por el gran potencial del material de almacenar humedad, cuan-

⁷ Suárez de castro F, Ed. IICA, Costa Rica, 1979, Conservación de suelos.

do aun no se había descompuesto totalmente la materia orgánica

Se observó que en el día 50 aparecieron nuevas semillas creciendo, las cuales estaban dentro del suelo pero les hacia falta agua para iniciar su crecimiento a pesar de tener todos los nutrientes necesarios (N,P,K,Ca). No se observaron anomalías en el suelo, aunque si se observaron algunos insectos y arácnidos.

El crecimiento del pasto se logra pese a la ausencia de lluvias en los primeros 45 días, las plantas estuvieron sujetas a menudo a trastornos debido a una pobre relación agua – suelo, a la estructura de este y a una capacidad de retención media.

En cuanto a la nutrición del pasto, no se realizaron mediciones de nutrientes en el pasto que se utilizo para protección del talud, ya que no existió un patrón de medición para compararlo con un pasto sembrado en condiciones de un suelo sin lodo, ya que el pasto que se sembró en la línea de base (o suelo sin intervención), no creció.

4.3 Disminución de erosión

La erosión resulta fundamentalmente de una inadecuada relación entre el suelo y el hombre. Los edafólogos distinguen entre la erosión geológica o desgaste natural de la tierra sin influencia humana y la erosión acelerada o aumento de la pérdida de suelo como consecuencia de la alteración del sistema natural por variadas formas de uso de la tierra, como es el caso de construcción de obras civiles con o sin adecuado manejo de los terrenos que quedan a la intemperie. . (Montenegro H. y Malagon D, 1990)

La erosión si se evito en esta parte del talud, ya que se realizo la protección de la cara externa del talud, puesto que con la aplicación 50 % - 50%, se mejoro el suelo y se presento un crecimiento notable de pasto y otras especies atraídas, donde luego se podrán sembrar algunas especies arbóreas nativas que ayuden con la protección contra la erosión de este talud, teniendo en cuenta que los factores que más favorecen la erosión hídrica son: las lluvias (frecuencia e intensidad), el suelo, la pendiente (grado y longitud), el tipo de vegetación y el uso y manejo de los

terrenos, con esta protección de el talud se evita el desgaste y perdida de material en la cara del talud.

5 CONCLUSIONES

La aplicación de lodos de la PTAR de la industria cervecera para mejoramiento de suelos, resultó benéfica debido a la mejora estructural del suelo, determinada por el aumento de cantidad de materia orgánica, por el incremento de la porosidad, lo cual conduce a un mejor intercambio de agua al suelo, incrementando la capacidad de infiltración y aumentando en la capacidad de retención de humedad.

El biosólido proveniente de la PTAR de cervecera leona, es un mejorador de suelo, conveniente para mantener las condiciones físicas del suelo y para el desarrollo de las plantas, permitiendo ser utilizados como enmienda orgánica en suelos degradados, para control de erosión y estabilidad de taludes, en proporción 50% de lodo y 50 % de material de la misma excavación.

Con la adición del lodo al suelo aparecieron nuevas posibilidades de nutrientes, y con el aumento del pH en el suelo aumento la disponibilidad de macronutrientes, con el aumento de la C.I.C.E.(me/100 g) favorece el almacenamiento e intercambio de iones en el suelo.

En los datos aportados del análisis de suelo antes de la intervención y después de la intervención (con adición 50 % lodo y 50 % material de la excavación) la relación Ca/Mg aumento en un 250 %, la relación Ca/K disminuyo en un 37 %, la relación Mg/K disminuyo en un 460 % y la relación (Ca+Mg)/K disminuyo en un 53 %

Los suelos con aportes elevados de materia orgánica muestran una mineralización neta, mientras que para los suelos con contenidos bajos se produce una incorporación neta, los efectos del uso de biosólidos en suelos para el control de erosión y estabilidad de taludes podemos decir que son : efectos directos (o a corto plazo) – la estabilidad de agregados, - mejoramiento de la porosidad, - protección superficial del talud y como indirectos (a mediano y largo plazo) – estimulo del desarrollo vegetal, - incremento de la materia orgánica sólida, - incremento de infiltración por raíces.

En cuanto a los logros de revegetalización con pasto en los taludes se destaca que en la aplicación de 100 % de lodo sobre talud no hubo crecimiento de es-

pecies por que este sufrió resquebrajamiento y se desprendió, en la línea de base no creció pasto ni ninguna especie vegetal, en el tiempo de seguimiento al material colocado. Hubo un crecimiento importante en el talud donde se realizó intervención de 50 % de lodo con 50 % de material de excavación.

Durante el tiempo de ensayos cayó una cantidad de lluvia despreciable después de la siembra, de manera que el establecimiento y el crecimiento de las plantas fueron extremadamente deficientes, pero durante las lluvias siguientes (45 días después), se observó un crecimiento vigoroso de la especie de pasto ("Olium multiflorum"), sembrada y de otras especies atraídas. En los tres sitios probados en donde pudo sobrevivir y recuperar el ritmo de crecimiento fue en el de aplicación de 50 % de lodo con 50 % de material de excavación, hasta llegar a una altura de 55 cm. en 11 semanas.

En la realización de la aplicación y rehabilitación en un espesor de 5 cm., se sembró pasto en los taludes laterales para el control de la erosión, observándose el crecimiento masivo al pie del talud. Aunque el talud tenía gran pendiente el pasto se estableció fácilmente y creció bien con la presencia de N y P. Se puede esperar que los taludes se establezcan completamente en los próximos meses. La vegetación local se estableció de manera natural en las paredes del talud.



Figura 10. Estado final del talud intervenido (70 días después de colocado el biosólido (proporción 50% 50%).

Para próximos estudios se recomienda realizar análisis de parámetros como erosividad de la lluvia, volúmenes de escorrentía (sobre áreas ya intervenidas), granulometría del sedimento (en área intervenida y en área sin intervenir), masa del sedi-

mento y cobertura vegetal, aparte de una caracterización foliar del material desarrollado.

De igual forma estudios de seguimiento al material colocado en cuanto a la presencia y conservación de micro y macro nutrientes en el tiempo, donde puede influir un intenso verano o invierno, conservando el suelo o como alternativa colocando nuevas dosis y observar su comportamiento, buscando así beneficios de conservación ambiental.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Acodal, manejo, mercadeo y disposición final de lodos de sistemas de tratamiento de aguas residuales y de potabilización, 1995: 9-18.
- Acodal, Taller internacional sobre tratamiento de aguas residuales industriales, 1988: 1-15.
- Aguilera s.m, g. borie, p. peirano and g. Galindo,(Chile),1997, organic matter in volcanic soils in Chile. chemical and biochemical characterization vol.28, 11-12. pag. 899-912.
- Costa f., García c, Hernandez t,(cdic, Murcia España),1999,residuos orgánicos urbanos, manejo y utilización:178-205
- Degremont, manual técnico del agua, cuarta edición, 1979: 5-40
- Elias, X, (cnpmlta,eis) 2000. Tecnologías avanzadas para la valorización de residuos y subproductos industriales.
- EPA, Folleto informativo de tecnologías de Biosólidos, aplicación del biosólido al terreno, EPA 832-F-00-64, 2000: 1-13.
- EPM, Folleto divulgación de biosólidos, 2003: 1-7
- Gerar K,(Mc graw hill, España),2000, ingeniería ambiental, fundamentos, entornos, tecnología y sistemas de gestión.
- Hernandez M.A (colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, Madrid España),1998, depuración de aguas residuales.
- Montenegro H & Malagon D,(Ed. IGAC, Bogotá dc),1990, propiedades físicas de los suelos.
- Mickett m & white r ,(Mc graw hill.),1990, edafología.
- Mercalí & eddy,(Mc graw hill, España),2000, ingeniería de aguas residuales, tratamiento y reutilización.
- Margalef, Rt,(ed. Planeta)1992,ecología
- Ron C & George T,(Mc graw hill.),1997, sistemas de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados.
- Rios J,(ediciones omega, Barcelona),1961, principios de geología y geotecnia para ingenieros.
- Salamanca B & Camargo G (Alcaldía mayor de Bogotá . DAMA),2000, protocolo distrital de restauración ecológica, guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de santa fe de Bogotá.

- Sakai, s. Hirakoa, (Mc Graw Hill), 1989 system design and full scale plant study on a drying incineration system for sewage sludge. water science technology : 14-53.
- Suarez de Castro F, (Ed. IICA, Costa Rica), 1979, conservación de suelos.
- Tay, joo yip, woon clay-blended sludge as light-weight aggregate concrete material , journal environmental engineering vol 117 117 , numero 6 , 1991: 834.
- Terence J, (Mc Graw Hill, Colombia), 1999, abastecimiento de aguas y alcantarillados . Sexta edición
- U. Javeriana, Memorias de curso internacional de restauración ecológica de canteras y uso de biosólidos, 2003: 5-13-17-29-35-42.

7 AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a la Alcaldía de Cajica, a los ingenieros Manuel S. Rodríguez, Mario Diaz-Granados y Edna L. Delgado, de la Universidad de los Andes, por sus aportes y recomendaciones en la consolidación y análisis de la información. A los ingenieros Camilo Cifuentes y Jaime Toquica de Cervecería Leona. A las personas que de manera desinteresada colaboraron y apoyaron para sacar adelante este proyecto.