

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE INDICADORES DE
CONTAMINACIÓN FECAL (COLIFORMES FECALES Y FAGOS
SOMÁTICOS) EN MEZCLAS DE ARIDOS Y BIOSÓLIDOS EMPLEADOS EN
LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE LA CANTERA JUAN REY**

INFORME FINAL

**CLAUDIA CAMPOS PhD
ANGÉLICA LEON. Microbióloga Industrial**

**DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA
BOGOTÁ, JUNIO DE 2006**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE INDICADORES DE
CONTAMINACIÓN FECAL (COLIFORMES FECALES Y FAGOS
SOMÁTICOS) EN MEZCLAS DE ARIDOS Y BIOSÓLIDOS EMPLEADOS EN
LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE LA CANTERA JUAN REY.**

1. ANTECEDENTES

El movimiento migratorio desde diversos sitios especialmente de la región Cundiboyacense, la zona cafetera, el departamento del Tolima, los Llanos Orientales y otros lugares del país hacia la capital, encontró la oportunidad de establecerse en la hoy denominada localidad de San Cristóbal.

La configuración socioespacial derivada de la ocupación de suelos periurbanos ha impulsado una tendencia creciente por la extracción de recursos, tanto por las comunidades asentadas como por las industrias extractivas que en la zona laboran, causando impactos sobre el ecosistema urbano.

En general se ha podido observar que un alto porcentaje de actividades extractivas han sido desarrolladas de manera no planeada y anti-técnica, ya que no se tuvo cuidado en la preservación del medio ambiente, lo que ha generado diferentes impactos a nivel ambiental (Correa, 2000).

Según la versión de algunos pobladores, la cantera funciona desde hace 15 años. Debido a las diversas actividades a las que se ha sometido el área del cerro Juan Rey, como la extracción de arena, manufactura de ladrillo y preparación de asfalto, después de un receso de 15 años de actividades industriales, es evidente la alteración del ecosistema; principalmente del suelo y su repercusión en la cobertura vegetal y en la presencia de fauna. Sin embargo, durante el lapso de suspensión de actividades ha ocurrido recuperación natural en algunos lugares (DAMA, 2004).

El clima es relativamente homogéneo y se caracteriza por que es muy frío y húmedo en época de invierno y frío y seco en época de verano. Se registran temperaturas anuales medias entre los 14 y 15 grados centígrados. Adicionalmente se presentan dos periodos de lluvias anuales de abril a junio con 34% a 36%, y de octubre a noviembre con un 27%. En el periodo más seco de diciembre a marzo apenas caen entre el 18 y 20% de las lluvias.

La precipitación presenta un comportamiento monomodal, propio de las zonas altas de la Sabana de Bogotá, principalmente en las zonas centro y sur de la cadena de cerros orientales, donde la precipitación media anual supera los 1000 mm a más de 2800 metros sobre el nivel del mar (Correa, 2000).

Por otra parte, la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de El Salitre trata el agua residual proveniente de la zona norte de Bogotá a través de un tratamiento primario químicamente asistido, el cual genera cerca de 135 toneladas de lodos diarios que son sometidos a procesos de estabilización anaerobia y deshidratación para ser dispuestos como biosólidos.

En la actualidad dichos biosólidos son transportados al relleno sanitario de Doña Juana donde se utilizan como cobertura para recuperación de capa vegetal. Sin embargo este tipo de actividad no se puede mantener de forma indefinida por lo cual es necesario buscar alternativas de disposición y

aprovechamiento de dicho material. Una de estas alternativas es el uso de los biosólidos como enmienda orgánica la cual contribuye a la recuperación de suelos gracias a su contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y otros elementos menores.

A pesar de tener diversos efectos positivos en un ecosistema, la aplicación de biosólido al suelo puede tener impactos negativos en el agua, el suelo y el aire, si dicha aplicación no se realiza correctamente. Los impactos negativos en el agua resultan de la aplicación de biosólidos con tasas que exceden los requerimientos nutricionales de la vegetación. El exceso de nutrientes en los biosólidos (principalmente los compuestos del nitrógeno) pueden lixiviarse y llegar al agua subterránea. La escorrentía pluvial puede también transportar un exceso de nutrientes al agua superficial. Sin embargo debido a que los biosólidos son un fertilizante de liberación lenta, la probabilidad que los compuestos de nitrógeno sean lixiviados de suelos mejorados con biosólidos, es menor a la del uso de fertilizantes químicos.

Los olores producidos por la aplicación de biosólido representan el principal impacto negativo al aire. La mayoría de los olores asociados con la aplicación al terreno son una molestia, más que una amenaza a la salud humana o al ambiente. La estabilización de los biosólidos reduce los olores y da lugar a un procedimiento que es menos desagradable que la aplicación de estiércol.

El mal olor genera rechazo del público pero una comunicación efectiva y a tiempo que explique los problemas momentáneos que se puedan presentar, así como las ventajas del proceso, es absolutamente esencial para la aplicación exitosa de los biosólidos.

De acuerdo a la normativa Americana (EPA, 1999), se debe conocer la concentración de metales pesados y microorganismos patógenos antes de realizar la disposición. Dicha caracterización ha sido realizada por la EAAB y arroja los siguientes resultados:

Tabla 1. Concentración de metales pesados en el biosólido de la planta El Salitre frente a la normativa internacional

A	N	C	N	Cu	N	C	N	H	N	M	N	N	N	Pb	N	S	N	Zn	N
2	7	1	8	14	430	8	300	<l	5	10	7	3	42	11	84	2	10	101	750
3	5	3	5	8	0	9	0	d	7		5	7	0	4	0	3	0	0	0

N: Norma EPA, 1999.

<ld: Menor al límite de detección.

Las concentraciones están expresadas en mg/Kg.

Tal y como se observa en la Tabla 1 la concentración de metales pesados en los biosólidos de la planta El Salitre cumple con la normativa, con lo cual se

descarta el riesgo de contaminación por metales pesados debido al uso de estos biosólidos como enmienda orgánica.

Tabla 2. Concentración de microorganismos patógenos en el biosólido de la planta El Salitre frente a la normativa internacional

Parámetro	El Salitre	Clase A	Clase B
Coliformes fecales (UFC/g PS)	$3,4 \times 10^6$	$< 1 \times 10^3$	$< 2 \times 10^6$
Fagos somáticos (PFP/g PS)	$8,5 \times 10^6$	< 1	> 1
Huevos de helminto viables / 4 g PS	10.8	< 1	> 1

Tal y como se observa en la Tabla 2, la concentración de microorganismos patógenos (excepto en el caso de los fagos somáticos, los cuales son indicadores de contaminación viral, frente a la dificultad de determinar enterovirus), sobrepasan los niveles establecidos para un biosólido de tipo A y por consiguiente se clasifican como biosólidos de tipo B, con lo cual se deben tener restricciones al momento de su disposición.

De acuerdo con la Norma 503 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1999). Estándares para la Aplicación y Disposición de Lodos de Aguas Residuales, se definen dos tipos de biosólidos en relación a la concentración de patógenos: Clase A y Clase B.

Los dos tipos son adecuados para la aplicación al terreno, pero se imponen requisitos adicionales en la clase B, que incluyen actividades tales como el acceso restringido al público al terreno de aplicación, la limitación del consumo de pasto por parte del ganado y el control en los periodos de cosecha. Los biosólidos de Clase A (biosólidos tratados de tal manera que no contengan agentes patógenos a niveles detectables), no están sujetos a este tipo de restricciones.

Dichas restricciones han sido establecidas en los Estados Unidos y Europa con base en investigaciones realizadas bajo condiciones ambientales, sociales y económicas diferentes a las nuestras, por lo cual es de vital importancia llevar a cabo estudios bajo las condiciones propias de la región y adaptadas a nuestras condiciones sociales y económicas.

Para esto se han venido realizando una serie de investigaciones en relación a la disposición de biosólidos como enmienda orgánica. Entre ellas se encuentran:

1. Evaluación de la aplicación de biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales como abono orgánico en el cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus*).

2. Indicadores de contaminación fecal en lodos y biosólidos producidos en una planta depuradora de aguas residuales domésticas.
3. Evaluación de indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales, fagos somáticos y fagos F específicos) en diferentes mezclas de suelo y biosólido en un cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus*).
4. Evaluación del comportamiento de los huevos de helminto en diferentes mezclas de biosólido y suelo en el cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus*).
5. Comportamiento de los fagos somáticos en mezclas de biosólidos y áridos utilizados para la restauración ecológica de la cantera de Soratama, localidad Usaquen.
6. Comportamiento de coliformes fecales como indicadores bacterianos de contaminación fecal en diferentes mezclas de biosólido y estériles utilizadas para la restauración ecológica de la cantera Soratama.

El resultado de estas investigaciones muestra que la disminución en la concentración de microorganismos patógenos requiere de un tiempo mayor a 60 días (periodo durante el cual se han evaluado), para lograr mezclas con características propias de un biosólido de tipo A con el cual se controlaría el riesgo sanitario generado por la presencia de microorganismos patógenos.

El estudio del comportamiento de los indicadores de contaminación fecal es de vital importancia ya que a pesar de las cualidades del lodo para la restauración ecológica existe el limitante de la presencia de microorganismos patógenos que significan riesgo sanitario para la población que tiene contacto directo o indirecto con dicho material.

Estudios previos realizados al biosólido proveniente de la planta El Salitre muestran que la concentración de coliformes fecales se encuentran entre $1,5 \times 10^5$ y $3,4 \times 10^6$, la de fagos somáticos entre $3,9 \times 10^5$ y $8,5 \times 10^6$ PFP/g PS y la de huevos de helminto viables entre $<0,4$ y $51,6$ huevos de helminto viables/4 g PS. Estas concentraciones clasifican el biosólido como de clase B según Norma 503 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1999). Otro criterio en el caso de los metales es el de las concentraciones de agentes contaminantes. Si dichas concentraciones no se sobrepasan en los biosólidos que se aplican al terreno, entonces no es necesario hacer el seguimiento de las tasas acumulativas del contaminante.

La primera experiencia de restauración ecológica empleando los biosólidos de la planta El Salitre, se realizó durante 2004 y 2005 en la cantera Soratama localizada al nororiente de Bogotá donde se había terminado la explotación hacía cerca de 7 años. En dicha cantera se evaluó el comportamiento de indicadores bacterianos (coliformes fecales) y virales (fagos somáticos) en mezclas de biosólido y áridos utilizados para evaluar la restauración ecológica de dicha cantera. Se trabajó en parcelas con tres tipos diferentes de tratamientos:

- T1: 8:1 v/v de arena-biosólido
- T2: 4:1 v/v de arena-biosólido
- T3: 2:1 v/v de arena-biosólido

Los resultados de dicha evaluación muestran una reducción superior al 90% en todos los tratamientos para el caso de los fagos somáticos y superior al 70% para coliformes fecales. La concentración de fagos somáticos al inicio de la experiencia (1.9×10^2 UFP/g PS) fue muy baja, comparada con la concentración encontrada en anteriores estudios (2.0×10^4 UFP/g PS), por lo que no se puede ser concluyente en relación a la verdadera reducción de los indicadores virales en esta circunstancias en particular. La disminución de los fagos se atribuyó a que los biosólidos estuvieron almacenados en la cantera antes del montaje de las parcelas en un periodo de intensas lluvias lo que podría favorecer el proceso de desorción y con ello la pérdida de los fagos.

En el caso de los coliformes fecales la concentración inicial fue de 2.8×10^5 /g de PS y al final de 1.2×10^1 en la parcela de mayor reducción y de 2.3×10^3 UFC/g PS en la de menor reducción. Estos resultados nos muestran que la concentración de coliformes fecales después de 60 días y bajo estas condiciones se redujo a valores muy cercanos a los exigidos para un lodo clase A.

Estos resultados junto con los obtenidos en el proceso de restauración ecológica son prometedores en relación al uso de estos biosólidos como enmienda orgánica. Por esta razón y frente a la necesidad de tener un mayor número de experiencias y resultados para poder obtener conclusiones más definitivas, se realizó un proyecto similar en la cantera Juan Rey. A continuación se describen y discuten los resultados de dicha experiencia.

2. OBJETIVOS

2.1 General

Evaluar el comportamiento de los coliformes fecales y los fagos somáticos como indicadores de contaminación fecal en mezclas de biosólido y árido en diferentes proporciones utilizados para la restauración ecológica de la cantera Juan Rey en un período de 60 días.

2.2 Específicos

Definir el porcentaje de reducción de los indicadores de contaminación fecal en las mezclas utilizadas durante un periodo de 60 días.

Definir en cuál de las mezclas utilizadas se presenta una mejor reducción de indicadores de contaminación fecal.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Zona de estudio.

La zona de estudio se encuentra en la localidad de San Cristóbal, en la parte suroriental de la ciudad de Bogotá D.C.,. La zona este localizada sobre un ramal de la cordillera Oriental, al bifurcarse por el sur del departamento de Cundinamarca y cruzar los paramos del Sumapaz, alto de Roquita, Pisa y Frutita (IGAC, 1984).

La zona se encuentra en la calle 74 sur entre carreras 12 y 11 C este. Comprende un área aproximada de 5 Ha, con características típicas de zona degradada debido a la explotación de materiales arenosos principalmente, en donde actualmente han quedado expuestas rocas sedimentarias de la formación La Regadera. Los espacios físicos considerados para hacer el estudio de impacto ambiental, se encuentran entre los 2800 y los 3200 m.s.n.m. (DAMA, 2004).

3.3 Montaje de las parcelas

El montaje de las parcelas se realizó entre el 23 y 28 de noviembre de 2005. Para este montaje se utilizaron 117 metros cúbicos de biosólido de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre y además se utilizaron 55 metros cúbicos de gravilla provenientes de una ladrillera aledaña, para mezclarlos con el biosólido de acuerdo al diseño. Se definieron un total de cinco tratamientos con diferentes mezclas y un control, cada uno con tres repeticiones.

- Tratamiento 1 (T1): 1 parte de biosólido por 1 parte de estéril v/v.
- Tratamiento 2 (T2): 2 partes de biosólido por 1 parte de estéril v/v.
- Tratamiento 3 (T3): 4 partes de biosólido por 1 parte de estéril v/v.
- Tratamiento 4 (T4): 8 partes de biosólido por 1 parte de estéril v/v.
- Tratamiento 5 (T5): 100% biosólido.
- Control (C): 100% estériles.

Los biosólidos fueron transportados de la Planta El Salitre hacia la cantera Juan Rey en dos partes, la primera el 24 de noviembre de 2005, con la cual se montaron las primeras parcelas: los tratamientos T5, T3 y el Control del bloque A, el Control del bloque B y los tratamientos T3, T5, T1 y el Control del bloque C. La segunda parte de los biosólidos se transportó el día 28 de noviembre de 2005 con la cual se montaron los tratamientos T1, T2 y T4 del bloque A, los tratamientos T1, T5, T3, T4, y T2 del bloque B, los tratamientos T4 y T2 del bloque C (Figura 1).

3.4 Distribución del área experimental

Antes de realizar la disposición de las mezclas en su respectivo sitio, se hizo un diseño experimental de bloques completos al azar para evitar el efecto de áreas adyacentes, es decir todos los tratamientos tienen la misma aplicación en la explanada, teniendo en cuenta que el tamaño diseñado para cada parcela es de 4.50 metros de largo por 4.50 metros de ancho. Se construyeron un total de 18 parcelas en tres bloques de 6; en cada bloque se ubicó una parcela de cada tratamiento.

Una vez se realizó el anterior procedimiento, se construyeron zanjas perimetrales para evitar la contaminación entre parcelas y tratamientos; el sistema de zanjas fue construido entre el 28 y 30 de noviembre.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño totalmente aleatorio como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Distribución de las parcelas en el área experimental

3.5 Toma de muestra

Las muestras se tomaron en cada parcela de los extremos y el centro tomando 500 g de muestra aproximadamente. Los muestreos se realizaron los días (0) martes 29 de noviembre de 2005, (15) martes 13 de diciembre, (30) martes 27 de diciembre y (60) martes 31 de enero de 2006. Para un total de 72 muestras.

Las muestras se recolectaron en bolsas plásticas y fueron transportadas al laboratorio de indicadores de calidad en aguas y lodos del Departamento de Microbiología de la Universidad Javeriana para ser procesadas el mismo día.

Las técnicas utilizadas son las siguientes:

- Coliformes fecales: Técnica de filtración por membrana según EPA/625/R92/013 (1999).
- Fagos somáticos: Técnica de elusión descrita por Lasobras y cols (1999) y el método para detección y cuantificación de fagos somáticos en aguas descrito por la ISO 10705-2 (1999).

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de la concentración de coliformes fecales y fagos somáticos durante el periodo de evaluación.

4.1 Coliformes fecales

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la concentración de coliformes fecales durante el periodo de evaluación.

Tabla 3. Concentración de coliformes fecales en los tratamientos a través del tiempo

TRATAMIENTO	DIA 0	DIA 15	DIA 30	DIA 60
	UFC/g PS			
T1	$7,7 \times 10^5$	$6,9 \times 10^5$	$7,6 \times 10^5$	$8,7 \times 10^5$
T2	$1,5 \times 10^6$	$8,5 \times 10^5$	$3,9 \times 10^5$	$1,0 \times 10^6$
T3	$1,1 \times 10^6$	$2,7 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,4 \times 10^6$
T4	$2,8 \times 10^6$	$6,9 \times 10^5$	$5,1 \times 10^5$	$2,8 \times 10^6$
T5	$2,9 \times 10^6$	$4,3 \times 10^5$	$2,8 \times 10^5$	$2,1 \times 10^6$
C	$3,4 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$	$3,3 \times 10^3$

UFC/g PS: Unidades Formadoras de Colonia por gramo de peso seco

T1: Tratamiento 1, 1:1 estéril y biosólido.

T2: Tratamiento 2, 1:2 estéril y biosólidos.

T3: Tratamiento 3, 1:4 estéril y biosólidos.

T4: Tratamiento 4, 1:8 estéril y biosólido.

T5: Tratamiento 5, 100% biosólido.

C: Control, 100% estéril.

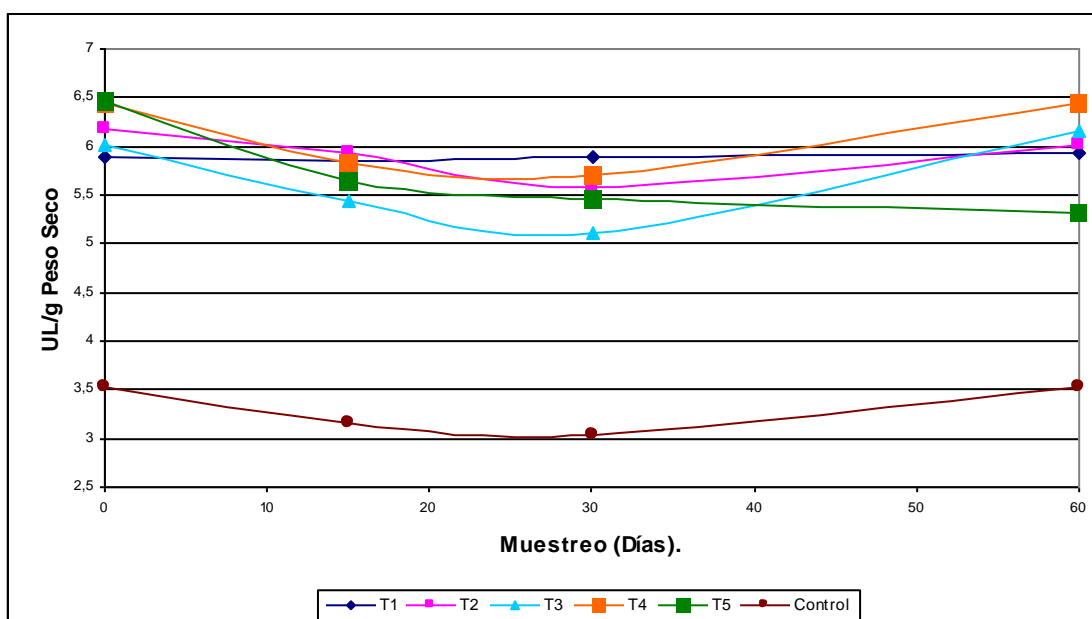


Figura 2. Concentración en Unidades Logarítmicas de coliformes fecales en los tratamientos a través del tiempo

Como se observa en la Tabla 3 y Figura 2 la concentración de coliformes fecales en las mezclas y el control de biosólidos se encuentra entre $7,7 \times 10^5$ y $1,1 \times 10^6$ UFC/g PS y en el control de estériles es de $3,4 \times 10^3$. Dicha concentración no se esperaba y se presume que se debe a contaminación de los estériles en el momento del montaje de las parcelas. La concentración de estos microorganismos se mantuvo constante durante el periodo de evaluación con algunas disminuciones y aumentos no significativos. Igual comportamiento se observó en los dos controles. Estos resultados muestran que durante el periodo de evaluación (60 días), la concentración de coliformes fecales no varió y el riesgo sanitario es el mismo al observado al inicio del experimento.

Tabla 4. Porcentaje de reducción de coliformes fecales durante el periodo de muestreo (60 días)

TRATAMIENTO	D0-D15	D15-D30	D30-D60	DISMINUCION FINAL
	Porcentaje de reducción			
T1	0,80%	-0,71%	-1,02%	-0,93%
T2	4,01%	5,83%	-7,60%	2,74%
T3	9,79%	6,02%	-20,61%	-2,25%
T4	9,59%	2,18%	-13,02%	0,05%
T5	12,88%	3,18%	2,46%	17,72%
C	10,32%	4,04%	-15,96%	0,21%

Tal y como se observa en la Tabla 4, el porcentaje de disminución en los tratamientos T2 y T4 fue del 2,74 y 0,05 % respectivamente y en T1 y T3 no se observa reducción al final de la evaluación. Sin embargo, dicha reducción no es importante y es más baja que la observada en la experiencia evaluada en Soratama donde la reducción estuvo entre el 38 y 79%. La explicación a dicha diferencia se basa en las siguientes razones:

1. El porcentaje de lodos utilizados en las mezclas evaluadas en la cantera Soratama fue de: 8:1, 4:1 y 2:1 estéril - biosólido, mientras que en el caso de Juan Rey fue de: 1:1, 1:2, 1:4, y 1:8 estéril – biosólido. Esto muestra un mayor porcentaje de biosólido en las mezclas de Juan Rey, con lo cual aumenta la humedad, la concentración de microorganismos y la capacidad de retención de agua, Estos factores favorecen la permanencia y en algunos casos la reproducción de lo microorganismos.
2. Durante el periodo de evaluación en la cantera Soratama se presentaron precipitaciones entre 0.1 y 1.2 mm y en Juan Rey entre 0,1 y 23,1 mm. El aumento y la frecuencia en las precipitaciones es un factor de gran importancia en la reducción de microorganismos, ya que proporciona humedad y un ambiente favorable para la permanencia de los mismos.
3. Los porcentajes de humedad en Soratama estuvieron entre 8.5 y 31.4% y en Juan Rey entre 36,7 y 69,6% (Tabla 5), lo cual influye de manera definitiva en la permanencia de los microorganismos en las mezclas.

4.2 Fagos Somáticos

Los resultados de las concentraciones de fagos somáticos durante el periodo de evaluación se observan en la Tabla 5.

Tabla 5. Concentración de fagos somáticos en los tratamientos a través del tiempo

TRATAMIENTO	DIA 0	DIA 15	DIA 30	DIA 60
	UFP/g PS			
T1	$1,2 \times 10^5$	$8,0 \times 10^3$	$4,1 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$
T2	$1,6 \times 10^4$	$1,3 \times 10^4$	$2,8 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$
T3	$5,8 \times 10^4$	$4,7 \times 10^4$	$2,2 \times 10^4$	$7,3 \times 10^3$
T4	$3,4 \times 10^4$	$8,4 \times 10^3$	$8,4 \times 10^3$	$6,8 \times 10^3$
T5	$1,5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$2,6 \times 10^4$	$2,2 \times 10^4$
C	$3,0 \times 10^2$	$6,0 \times 10^1$	$6,7 \times 10^1$	$1,5 \times 10^1$

UFP/g PS: Unidades Formadoras de Placa por gramo de peso seco

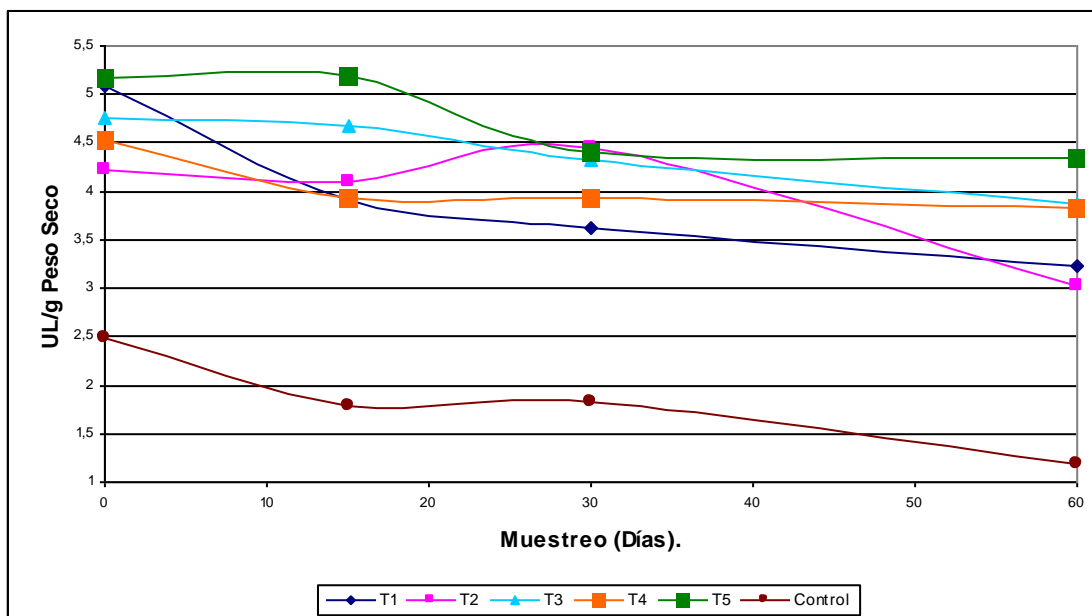


Figura 3. Concentración en Unidades Logarítmicas de fagos somáticos en los tratamientos a través del tiempo

Como se observa en la Tabla 5 y la Figura 3 las concentraciones iniciales de los fagos somáticos en las mezclas y en el control de biosólido se encuentran entre $1,6 \times 10^4$ y $1,5 \times 10^5$ UFP/g PS. El control presenta una concentración de $3,0 \times 10^2$ UFP/g PS la cual se presume que proviene de contaminación generada durante el montaje de las parcelas. Al día 60 se observan concentraciones entre $1,0 \times 10^3$ y $7,3 \times 10^3$ en las mezclas y $2,2 \times 10^4$ y $1,5 \times 10^1$ UFP/g PS en el control de biosólidos y estériles respectivamente. Los porcentajes de reducción tal y como se observa en la Tabla 6, oscilan entre el 15 y el 36% para las mezclas, siendo mayor (36,49%) para la mezcla T1. Estos resultados son más bajos que los encontrados en la cantera Soratama donde los porcentajes de reducción fueron superiores al 90% en el caso de los fagos somáticos. Sin embargo dicha experiencia no es la más indicada para comparar por las bajas concentraciones encontradas al inicio de la evaluación.

En este caso y a diferencia de los coliformes fecales que no muestran diferencias entre los tratamientos, se observa una mayor reducción en las mezclas que tienen una concentración menor de biosólido.

Tabla 6. Porcentaje de reducción de fagos somáticos durante el periodo de muestreo (60 días)

TRATAMIENTO	D0-D15	D15-D30	D30-D60	DISMINUCION FINAL
	Porcentaje de reducción			
T1	23,29%	7,34%	10,65%	36,49%

T2	2,68%	-8,47%	32,22%	28,45%
T3	1,91%	7,26%	10,83%	18,89%
T4	13,36%	-0,03%	2,43%	15,44%
T5	-0,41%	14,95%	1,80%	16,14%
C	28,21%	-2,86%	35,44%	52,33%

A continuación se muestran los resultados del porcentaje de humedad y temperatura de las mezclas, como factores que influyen en la reducción de microorganismos.

Tabla 7. Resultados promedio de humedad en los diferentes tratamientos

TRATAMIENTO	Día 0	Día 15	Día 30	Día 60
T1	39,37%	38,48%	37,87%	36,67%
T2	48,42%	44,46%	45,40%	45,37%
T3	54,10%	53,83%	51,07%	49,45%
T4	60,33%	56,13%	56,80%	56,67%
T5	64,70%	69,58%	64,74%	61,08%
C	13,08%	10,51%	10,86%	11,71%

Como se observa en la Tabla 7 los porcentajes de humedad permanecieron estables durante el periodo de evaluación (36,7% y 69,8%) tanto en las mezclas como en el control de biosólido. En el caso de los estériles la humedad estuvo entre 10,51% y 13,08%. De todos los tratamientos T1 fue el que presentó el porcentaje de humedad más bajo lo que podría estar relacionado con una mayor reducción de los fagos somáticos en dicho tratamiento. Estos porcentajes de humedad fueron más altos que los encontrados en las parcelas de Soratama (5.81- 31.36%), lo que podría explicar la mayor reducción de microorganismos.

Tabla 8. Temperatura promedio de las mezclas en los diferentes tratamientos a través del tiempo

TRATAMIENTO	Día 0	Día 15	Día 30	Día 60
T1	14.5°C	12.3°C	12.3°C	13°C
T2	17°C	12.6°C	13°C	13.6°C
T3	14.6°C	12.6°C	13.3°C	13.3°C
T4	18.3°C	13°C	13.3°C	13.6°C
T5	15.6°C	13°C	13°C	16°C
C	13.3°C	11.6°C	11°C	11.33°C

La Tabla 8 muestra los resultados de la temperatura en los diferentes tratamientos al momento de recoger las muestras para los análisis microbiológicos. Dicha temperatura oscila entre 11.3 y 17 °C, sin presentar variaciones importantes durante el periodo de evaluación. Dicha temperatura parece favorecer la permanencia de los microorganismos durante el periodo de evaluación.

CONCLUSIONES

1. La concentración de coliformes fecales después de 60 días oscila entre $8,7 \times 10^5$ y $2,8 \times 10^6$ UFC/g PS con una reducción que no supera el 2,7%. No hay diferencias significativas entre los diferentes tratamientos y la concentración final sigue siendo la característica de un biosólido de tipo B.
2. El porcentaje de reducción de coliformes fecales en la cantera Juan Rey es mínimo comparada con la observada en Soratama que alcanzó el 79% en el mismo periodo de tiempo y con concentraciones finales similares a las de un biosólido de tipo A.
3. La concentración de fagos somáticos después de 60 días oscila entre $1,0 \times 10^3$ y $7,3 \times 10^3$ PFP/g PS con una reducción que no supera el 37%, siendo mayor en T1 donde el porcentaje de biosólidos es menor y del 15% en T4 donde el porcentaje de biosólidos es mayor.
4. El porcentaje de reducción de fagos somáticos es bajo comparado con el observado en Soratama que fue del 90%. La concentración después de 60 días sigue siendo típica de un biosólido de tipo B para la cantera Juan Rey.
5. Estos resultados parecen estar relacionados con el aumento en la concentración de biosólidos en las mezclas, mayores porcentajes de humedad (37-60%) en Juan Rey, comparados con Soratama (10-32%) y aumento en la pluviosidad en Juan Rey (0.1-23 mm) comparado con Soratama (0.1-1.2 mm).

RECOMENDACIONES

1. Se debe intentar aplicar los biosólidos en periodos secos o de baja pluviosidad para aumentar la reducción de patógenos.
2. Durante el periodo de aplicación y hasta reducir la concentración de patógenos a las características de un biosólido de tipo A, se debe

ingresar con protección adecuada o evitar el contacto directo con el suelo en el caso de las personas que realizan el seguimiento de la experiencia. Se debe restringir la entrada al público.

3. Se deben realizar muestreos en un periodo más largo de tiempo para determinar el momento en el cual las concentraciones de patógenos se reducen a los niveles permitidos por la norma.
4. Se debe incluir dentro de los parámetros de control, la evaluación de huevos de helminto viables ya que son los más resistentes a las condiciones ambientales.

BIBLIOGRAFIA

- Correa, A. 2000. La explotación racional de canteras y su incidencia en el medio ambiente. CER-Restauración de ecosistemas alterados por la explotación minera. Bogotá. pp.: 1-13.
- Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente. DAMA. 2004. Unión Temporal Suiza. Adecuación geomorfológica y restauración ecológica del mirador del cerro Juan Rey en la Localidad de San Cristóbal. Contrato 04-08-00-03. Informe Final. Bogota D.C.
- Environmental Protection Agency. 1999. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. EPA/625/R-92/013. Cincinnati. Ohio.
- Fuccz, J y Gómez, R. 2005. Comportamiento de coliformes fecales como indicadores bacterianos de contaminación fecal en diferentes mezclas de biosólido y estériles utilizadas para la restauración ecológica de la cantera Soratama. Trabajo de grado. Departamento de Microbiología. Universidad Javeriana. 49.
- Guzmán, C. 2002. Indicadores de contaminación fecal en lodos y biosólidos producidos en una planta depuradora de aguas residuales domésticas. Tesis Maestría Microbiología. Pontificia Universidad Javeriana. 115.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1984. Estudio regional integrado del altiplano Cundiboyacense. Santafé de Bogotá. Pp 35-44, 304.
- León. A y Trejos, J. 2005. Comportamiento de los fagos somáticos en mezclas de biosólidos y áridos utilizados para la restauración ecológica de la cantera Soratama, localidad Usaquen. Trabajo de grado. Departamento de Microbiología. Universidad Javeriana. 109.

- Luna, N y Rojas, K. 2004. Evaluación de indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales, fagos somáticos y fagos F específicos) en diferentes mezclas de suelo y biosólido en un cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus*). Trabajo de grado. Departamento de Microbiología. Universidad Javeriana. 118.
- Pérez, M. 2002. Evaluación de la aplicación de biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales como abono orgánico en el cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus*). Trabajo de grado. Pontificia Departamento de Ecología y Territorio. Universidad Javeriana. 73.
- Roncería, M y Zorro, M. 2005. Evaluación del comportamiento de los huevos de helminto en diferentes mezclas de biosólido y suelo en el cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus*). Trabajo de grado. Departamento de Microbiología. Universidad Javeriana. 125.