

COMPORTAMIENTO DE COLIFORMES FECALES COMO INDICADORES BACTERIANOS DE CONTAMINACIÓN FECAL EN DIFERENTES MEZCLAS DE BIOSÓLIDO Y ESTÉRILES UTILIZADOS PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE LA CANTERA SORATAMA, BOGOTÁ

J. Fuccz-Gamboa, R. Gómez-Moreno, M. Cárdenas-Guzmán¹, C. Campos-Pinilla¹

¹ Departamento de Microbiología, Pontificia Universidad Javeriana
Carrera 7^a No. 43-82, Bogotá, Colombia.
campos@javeriana.edu.co

RESUMEN

El biosólido de la planta de tratamiento de aguas residuales “El Salitre”, contiene una importante concentración de materia orgánica y nutrientes, los cuales pueden ser utilizados como enmienda orgánica en la agricultura, reforestación y recuperación de terrenos disturbados por el hombre. Su aplicación se encuentra condicionada a la concentración de microorganismos patógenos presentes, ya que generan un riesgo sanitario para las personas que lo manipulan o entran en contacto directo con él. El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento de los coliformes fecales, como indicadores bacterianos de contaminación fecal en mezclas de biosólido y estériles en diferentes proporciones utilizadas para la restauración ecológica de la cantera de “Soratama” en un período de 60 días. Se realizaron tres tratamientos (T1 8:1; T2 4:1 y T3 2:1, v/v de estériles-biosólido) con tres réplicas cada uno y un control negativo, únicamente con estériles. Se tomaron un total de 60 muestras y se analizaron de acuerdo con el protocolo de la EPA/625/R92/013 (1999), técnica de filtración por membrana. La concentración final de coliformes fecales fue de 2.3×10^3 UFC/g de PS para T1, 1.6×10^2 UFC/g de PS para T2 y 1.2×10^1 UFC/g de PS para T3; con un porcentaje de reducción de 38,1, 53,8 y 78,5% respectivamente. La radiación solar, la temperatura ambiente, la humedad y la precipitación influyeron significativamente en la reducción de la concentración de coliformes fecales.

Palabras clave: biosólido, canteras, coliformes fecales, restauración.

ABSTRACT

The biosolid of wastewater treatment plant “El Salitre” contains an important concentration of organic matter and nutrients that could be used as an organic supplement in agriculture, reforesting and soil recovery. This application is conditioned to the concentration of pathogen microorganisms present, because it could generate health issues to the people who get in direct contact to it. The main aim of this work was to evaluate the behavior of coliform faecal as bacterial indicators of fecal contamination in mixtures of biosolids and sterile in different proportions used for the ecological restoration of “Soratama” Quarry in 60 day period. Three treatments were evaluated (T1 8:1; T2 4:1 and T3 2:1, v/v Sterile – biosolid) with three replications each and one control. 60 samples were taken and analyzed in accordance with the protocol EPA/625/R92/013 (1999) filtration by membrane technique. The final concentration of coliform faecal was of 2.3×10^3 UFC/g PS for T1, 1.6×10^2 UFC/g PS for T2 and 1.2×10^1 UFC/g PS for T3; with a percentage of reduction of 38.1, 53.8 and 78,5% respectively. The solar radiation, the environmental temperature, the humidity and the precipitation had significant influence in the reduction of faecal coliform.

Key words: biosolid, coliform fecal, quarry, restoration

INTRODUCCIÓN

El incremento en la población mundial ha generado un aumento en la contaminación del recurso hídrico. Una de las formas de disminuir dicha contaminación es por medio del tratamiento de aguas, el cual genera un agua de mejor calidad y una cantidad importante de lodos donde se concentra parte de la contaminación. Los biosólidos generados por estabilización biológica o química son ricos en materia orgánica, nitrógeno y fósforo lo cual los hace potencialmente útiles como enmiendas orgánicas. Además, pueden mejorar las propiedades físicas del suelo como la densidad aparente, estructura, porosidad y retención de agua; lo cual puede reflejarse en un incremento en el rendimiento de cultivos o en la restauración de la capa vegetal. Esta alternativa es doblemente satisfactoria; por un lado el aspecto ambiental se beneficia al eliminarse los residuos orgánicos urbanos sin alteración relevante del equilibrio ecológico y por el otro, el aspecto agrícola al incorporar a los suelos la materia orgánica y los nutrientes contenidos en este material.

Las actividades de disposición en el suelo, son una alternativa conveniente para el manejo de los sólidos generados en instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Este es el método de preferencia para instalaciones pequeñas al ofrecer ventajas económicas y beneficios al medio ambiente y a las comunidades agrícolas (Alcañiz & Ortiz, 1998).

Las ventajas del uso del biosólido en comparación con los fertilizantes convencionales son los siguientes:

Los biosólidos son productos reciclados cuyo contenido de nutrientes no son tan solubles como en los fertilizantes químicos, y por lo tanto, se liberan más lentamente.

La aplicación de biosólidos requiere prácticas más rigurosas para la conservación y el control de la erosión del suelo, y el manejo de los nutrientes, en el caso de los agricultores que utilizan fertilizantes químicos o estiércol. La materia orgánica en los biosólidos mejora las características del terreno para el crecimiento óptimo de las plantas, la fertilidad y la capacidad de retención de agua. Una declaración conjunta del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la Administración de Alimentos y Fármacos, y la Agencia de Protección Ambiental manifiesta que: "...la aplicación de los biosólidos de alta calidad junto con los procedimientos de manejo adecuados, debe salvaguardar al consumidor de cosechas contaminadas y reducir al mínimo cualquier posible efecto adverso en el ambiente" (EPA, 1995).

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) "El Salitre", genera además de aguas tratadas, más de 160 toneladas diarias de biosólidos que actualmente son transportados hasta el relleno sanitario de Doña Juana; lugar donde se aplican para regeneración de cobertura vegetal. Sin embargo, se buscan otras alternativas viables para su disposición como generación de compost, restauración de canteras y uso agrícola. En estudios realizados al biosólido de la planta "El Salitre" se ha encontrado que los niveles de metales pesados tales como As, Cd, Hg, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, se encuentran por debajo de las concentraciones límite establecidas por la EPA. En relación a la presencia de microorganismos se ha encontrado que el biosólido producido por esta planta se clasifica como clase B, por presentar concentraciones de coliformes fecales $< 2 \times 10^6$ UFC/g sólidos totales y huevos viables de helminto de 10.6 huevos de helminto viables/ 4g peso seco. De acuerdo con la Norma 503 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos EPA (1995), se definen dos tipos de biosólidos según la concentración

de agentes 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 del público al terreno de aplicación, la limitación de consumo por el ganado, y el control de los períodos 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 (EPA, 1999).

La concentración de coliformes fecales encontradas en los biosólidos de la planta "El Salitre" implica restricciones en su uso agrícola. Por lo anterior, surge la necesidad de encontrar nuevas alternativas de disposición para los biosólidos producidos en dicha planta.

Los coliformes fecales son contaminantes comunes del tracto intestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente; están presentes en el tracto intestinal en grandes proporciones, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección. En la inactivación de los coliformes fecales se deben tener en cuenta factores ambientales como, la humedad, temperatura, luz ultravioleta, pH, ya que estos microorganismos al no encontrarse en un ambiente favorable y al no obtener los nutrientes necesarios para su crecimiento se hacen más susceptibles a la inactivación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio: La cantera "Soratama", localizada al nororiente de Bogotá, finalizó su explotación hace más de 7 años. Se encuentra localizada en la parte alta del barrio Soratama en la localidad de Usaquén. Los antecedentes históricos no registran

una fecha exacta en la que la hacienda Soratama pasó a ser cantera para la extracción de areniscas destinadas principalmente para la construcción de vías, enchapes de edificios, la industria del vidrio y propósitos constructivos, pero se sabe que alrededor de los años cincuenta se impulsó la explotación de los cerros orientales, generando problemas ambientales graves.

Preparación de las mezclas: La preparación de las mezclas se realizó en el frente de explotación utilizando los áridos presentes en la cantera. Al finalizar las mezclas se determinaron las concentraciones de carbono orgánico en cada tratamiento: Tratamiento 1 (T1) concentración al 0,2% (p/p) de carbono orgánico: para este tratamiento se mezclaron 8 partes de estériles por 1 parte de biosólido. Tratamiento 2 (T2) concentración al 0,4% (p/p) de carbono orgánico: Se mezclaron 4 partes de estériles por 1 parte de biosólido. Tratamiento 3 (T3), concentración al 0,8% (p/p) de carbono orgánico: La proporción de la mezcla fue de 2 partes de estériles por 1 parte de biosólido. Control (C) suelo estéril, concentración del 0,09% (p/p) de carbono orgánico.

Toma de muestras: Para efectuar la toma de muestra se utilizaron 12 tubos de PVC con 10 cm de longitud y terminación en forma de pico de flauta para facilitar el ingreso al suelo, obteniéndose de esta manera de cada parcela muestras de cinco sitios diferentes (4 esquinas y centro). Se tomaron muestras los días 0, 8, 15, 30 y 60, para un total de 12 muestras por día, con un total de 60 muestras. Estas muestras fueron transportadas en nevera de icopor para ser procesadas en las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana.

Cuantificación de coliformes fecales: Las muestras fueron procesadas de acuerdo con el protocolo de la EPA/625/R92/013

(1999), técnica de filtración por membrana, previa elusión con una solución tamponada estéril, la cual consiste en la filtración de una muestra a través de una membrana con tamaño de poro de 0.45 micras, las bacterias presentes en la muestra quedarán retenidas en la membrana, la cual posteriormente es incubada en el medio específico agar m-FC a 44.5°C (+/- 0.2°C) durante 24 +/- 2 horas. La reacción se lee al observar colonias azules, lo que indica la fermentación de la lactosa por las bacterias al encontrarse a esta temperatura.

Análisis estadístico

Se efectuaron tres réplicas de cada tratamiento y cinco muestreos, para un total de 60 muestras. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para buscar diferencias

significativas en cuanto a la concentración de coliformes fecales entre los tres tipos de tratamiento a lo largo del tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en la figura 1; se presenta una reducción de coliformes fecales similar en cada uno de los tratamientos, a excepción del control que mostró aumento hasta el muestreo correspondiente al día 15, con posterior reducción hasta el final del estudio; sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico ANOVA, esta reducción no es significativa ($p > 0.05$). La reducción total para cada uno de los tratamientos fue de 2.08 UL/g peso seco para T1, 2.59 UL/g peso seco para T2 y 4.04 UL/g peso seco para T3; presentándose para T1, reducción

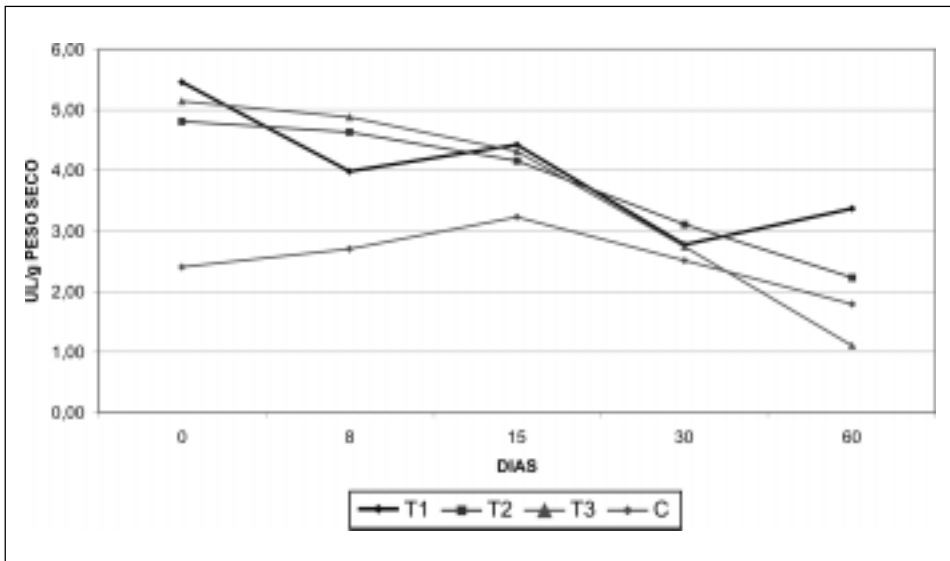


FIGURA 1. Concentración en unidades logarítmicas de coliformes fecales en los diferentes tratamientos a través del tiempo.

UL/g: Unidades logarítmicas por gramo T1: Tratamiento 1, concentración al 0,2% de carbono orgánico; 8:1 estériles y biosólido. T2: Tratamiento 2, concentración al 0,4% de carbono orgánico; 4:1 estériles y biosólido. T3: Tratamiento 3, concentración al 0,8% de carbono orgánico; 2:1 estériles y biosólido. C: Control, concentración del 0,09% de carbono orgánico.

a los 8 días, aumento a los 15 días y reducción nuevamente a los 30 días de iniciado el experimento; mientras que para T2 y T3 se estableció disminución constante a lo largo de los 60 días de evaluación.

Con respecto al control se observó presencia de coliformes fecales mostrando un aumento en la concentración desde el día 0 al día 15 (2.77 UL/g peso seco) de iniciado el estudio y reducción posterior a partir del día 15 hasta el día 60 (2.10 UL/g peso seco). Estos resultados no se esperaban debido a que el control correspondía a áridos de la cantera. Por esta razón, al finalizar el primer muestreo (2.40 UL/g peso seco), se analizaron muestras del árido procedente de la cantera en un área distante del área experimental (aproximadamente a 500 metros de distancia).

Luego del análisis del árido se pudo confirmar la ausencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal, lo cual permite pensar que la presencia de coliformes fecales en el control pudo ser debido a que al utilizar los estériles de la cantera para realizar las mezclas y trasladar de manera simultánea tanto los tratamientos como el control al área experimental, se pudo ocasionar contaminación del control por

falta de limpieza del "bobcat" al momento de transportar las mezclas. Otra posible causa, es que en la zona se presentaron altas precipitaciones durante el tiempo correspondiente a la disposición y montaje de las mezclas, lo cual sumado al hecho de que el biosólido no fue cubierto y a que no se contó en un comienzo con una disposición adecuada de zanjas entre tratamientos que permitiera el depósito de agua lluvia, pudo ocasionar contaminación del control por escorrentía.

Para evaluar la reducción o aumento de coliformes fecales a través del tiempo, se determinó el porcentaje de reducción entre muestreos y el porcentaje final comparado con la concentración inicial.

Como se observa en la tabla 1, se presentó reducción en la concentración de coliformes fecales para cada tratamiento (T1, T2, T3) a lo largo del estudio. El mayor porcentaje de reducción para T1 se presentó entre los días 15 y 30 (37,1%). Para T2 el mayor porcentaje de reducción fue de 28,3% entre el día 30 y 60 y para T3 fue de 60,1% entre los días 30 y 60. El control (C) presentó una reducción de -19,2% en la concentración de coliformes fecales lo que indica que en lugar de disminuir aumentó.

Tabla 1
Porcentaje de reducción de coliformes fecales durante el período de muestreo (60 días)

TRATAMIENTO	% DE REDUCCIÓN DE COLIFORMES FECALES				
	D0 - D8	D8 - D15	D15 - D30	D30 - D60	DISMINUCION FINAL
T1	26.9%	-10.8%	37.1%	-21.6%	38.1%
T2	3.7%	10.1%	25.4%	28.3%	53.8%
T3	5.1%	11.6%	36.1%	60.1%	78.5%
C	-12.5%	-19.2%	21.7%	28.9%	25.4%

Tratamiento T1: Tratamiento 1, concentración al 0,2% (p/p) de carbono orgánico; 8:1 estériles y biosólido (v/v). T2: Tratamiento 2, concentración al 0,4% (p/p) de carbono orgánico; 4:1 estériles y biosólido (v/v). T3: Tratamiento 3, concentración al 0,8% (p/p) de carbono orgánico; 2:1 estériles y biosólido (v/v). C: Control, concentración del 0,09% (p/p) de carbono orgánico, D: Día.

Para el día 60 se observa un porcentaje de reducción de 28,9%. De esta manera el porcentaje de reducción final para T1, T2 y T3 fue de 38,1, 53,8 y 78,5% respectivamente.

Al final del experimento, se observó que los porcentajes de reducción de coliformes fecales fueron mayores al 30% y el tratamiento T3 fue el que presentó mayor disminución en la concentración de coliformes fecales con un 78,5%. Si se tiene en cuenta que T3 presenta una concentración de 0,8% de carbono orgánico 2:1 (v/v) arena y biosólido, se observa que a medida que las concentraciones de carbono orgánico aumentan para cada tratamiento, la reducción en la concentración de coliformes fecales es mayor.

Distintos autores han estudiado los factores que afectan la supervivencia de los microorganismos patógenos en el suelo. Kibbey *et al.*, (1988) investigaron la supervivencia de *Streptococcus faecalis* en cinco tipos de suelo en Oregon, estableciendo que las tasas de supervivencia de estas bacterias variaban según el tipo de suelo pero que por lo general eran mayores en suelos con humedad elevada; así los mayores períodos de supervivencia fueron obtenidos bajo condiciones de saturación. Bouma *et al.*, (1981) en estudios de campo para evaluar el desplazamiento de los contaminantes en la zona de zanjas de infiltración para efluentes de tanques sépticos, encontraron que en la primera capa de 30 cm del suelo comenzaban a aparecer los actinomicetos, los cuales aumentaban en la medida que incrementaba la profundidad de dicha capa de 30 cm. Estos organismos producen antibióticos y contribuyen así al decrecimiento de las bacterias entéricas.

La microflora del suelo también compete con las bacterias entéricas por los nutrientes disponibles, lo cual puede ser un factor importante en su reducción. De acuerdo a estudios sobre la persistencia de *Salmonella*

sp., en la zona no saturada de suelo agrícola, Palacios *et al.* (1999) determinaron que este género bacteriano es capaz de sobrevivir tanto en suelo como en plantas cuando los suelos han sido regados con agua residual a la cual se le ha agregado artificialmente dicha bacteria; sus resultados establecen que luego de 10 días de llevar a cabo el riego, *Salmonella* sp., estaba presente en plantas; indicando su persistencia durante un tiempo relativamente largo, al tiempo que las concentraciones menores de *Salmonella* sp., fueron determinadas en la superficie del suelo, con tendencia a disminuir en profundidad. Se detectaron bacterias a profundidades de 15 y 45 cm, 15 días después del riego. Asimismo, se observó que existía una disminución en el número de unidades formadoras de colonia durante las horas en las que se recibía radiación solar, con un aumento de colonias durante la noche, por posible multiplicación de las bacterias. Sin embargo, en un medio húmedo y de baja temperatura, algunos coliformes fecales pueden sobrevivir muchos meses. Bajo condiciones de elevada temperatura y aridez, es probable que la eliminación total de las bacterias fecales utilizadas como indicador ocurra en 15 días y las bacterias que penetren más profundamente en los suelos, tengan mayor probabilidad de sobrevivir por más tiempo que aquéllas próximas a la superficie. Este comportamiento se asemeja a los resultados de nuestro estudio ya que pasados 60 días la reducción fue notoria con tendencia a la eliminación.

Para evaluar la influencia de factores ambientales como temperatura, radiación solar y lluvias se midieron estas variables durante el período de evaluación. La radiación solar entre el día 0 y el día 60 osciló entre 145.6 y 219.5 (Wm²); la temperatura no presentó variación durante el período de estudio manteniéndose dentro de un rango de 12.3 y 13.1°C y la precipitación se mantuvo entre 0.1 y 1.2 mm; los valores de

estas variables se observan en la tabla 2.

El análisis estadístico (regresión lineal), muestra que la radiación solar, la temperatura ambiente y la precipitación influyen significativamente en la reducción de la concentración de coliformes fecales ($p < 0.05$). Como lo muestra la tabla 3, el porcentaje de humedad de las parcelas durante el período de muestreo osciló entre 9,73 y 20,08% en el día 0 para los diferentes tratamientos; en el día 8, se observó un aumento en el porcentaje de humedad, siendo T3 el que presentó mayor aumento (31,36%). Posteriormente durante los días 15, 30 y 60 los tratamientos presentaron

disminución; el tratamiento T3 presentó mayor reducción en el porcentaje de humedad con relación a los valores iniciales 12,51%. En los resultados del control se observó un porcentaje de humedad bajo en comparación a todos los tratamientos, ya que la presencia de biosólido en las mezclas favorece la retención de agua.

Varios autores han establecido que los factores que más inciden en la persistencia de las bacterias en el suelo son la humedad y la temperatura. Kligler (1921) investigó la supervivencia de *Salmonella tiphy* y de *Shigella dysenteriae* en diferentes tipos de suelo a temperatura am-

Tabla 2
Temperatura ambiente, radiación solar y precipitaciones promedio presentadas durante el período de evaluación

TIEMPO	Radiación Solar (Wm^2)	Temperatura ($^{\circ}C$)	Precipitación (mm)
DÍA 0	209.7	13.1	0.1
DÍA 8	145.6	12.3	0.8
DÍA 15	193.0	12.8	0.2
DÍA 30	219.5	12.8	1.2
DÍA 60	208.3	12.5	0.5

Fuente: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB, 2004).

Wm2: Watts metro cuadrado, $^{\circ}C$: grados centígrados, mm: milímetros de lluvias.

Tabla 3
Resultados promedio de humedad en los diferentes tratamientos

TRATAMIENTO	% HUMEDAD				
	DÍA 0	DÍA 8	DÍA 15	DÍA 30	DÍA 60
T1	9.73%	11.18%	9.44%	8.57%	8.52%
T2	12.35%	15.01%	11.26%	10.75%	10.23%
T3	20.08%	31.36%	15.06%	13.84%	11.51%
C	7.04%	8.32%	5.81%	6.97%	6.52%

Tratamiento T1: Tratamiento 1, concentración al 0,2% (p/p) de carbono orgánico; 8:1 estériles y biosólido (v/v). T2: Tratamiento 2, concentración al 0,4% (p/p) de carbono orgánico; 4:1 estériles y biosólido (v/v). T3: Tratamiento 3, concentración al 0,8% (p/p) de carbono orgánico; 2:1 estériles y biosólido (v/v). C: Control, concentración del 0,09% (p/p) de carbono orgánico.

biente, comprobando que algunas bacterias sobrevivían por 70 días en suelos húmedos, aunque un 90% de éstas eran eliminadas en 30 días. En suelos secos, ninguna bacteria logró sobrevivir más de 20 días, y en suelos ácidos, independientemente del contenido de humedad, este tiempo se redujo a 10 días. Durante el estudio la humedad osciló entre 5,81 y 31,36% lo que influye en la supervivencia de los coliformes fecales en el suelo a través del tiempo, ya que generalmente los microorganismos requieren unas condiciones mínimas de humedad para su crecimiento. El agua forma parte del protoplasma bacteriano y sirve como medio de transporte a través del cual los compuestos orgánicos y nutrientes son movilizados hasta el interior de las células. Un exceso de humedad inhibe el crecimiento bacteriano al reducir la concentración de oxígeno en el suelo (Arroyo y Quesada, 1998).

Estrada de Luis (2003), estudió la influencia de la temperatura en la evolución de la población de microorganismos patógenos de origen fecal, como coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Streptococcus faecales*, tanto en muestras de suelo, como en muestras de suelo más biosólido, durante un período de 80 días. De esta manera determinó que las mayores poblaciones tanto de coliformes fecales como de *Escherichia coli* en las muestras de suelo más biosólido, se alcanzan a temperatura de 25°C a partir del día 5 de incubación, mientras que para las muestras de suelo la máxima población de coliformes fecales se alcanza el mismo día de incubación, a temperatura de 15°C. Estos resultados coinciden con el comportamiento presentado en el control; el cual muestra aumento en la concentración de coliformes fecales a partir del día 8 aproximadamente; alcanzando un máximo para el día 15, con una temperatura promedio de 12.5°C. Quizá se deba a que las bacterias generalmente sufren un período de

latencia o de aclimatación, en el que se van adaptando progresivamente a las condiciones del medio donde se encuentran; luego suelen tener una fase de crecimiento logarítmico, en el que comienzan su división y aumento a velocidad constante como consecuencia de la disponibilidad de aporte de nutrientes siendo mayor este aporte en el caso en el que se adiciona biosólido, ya que cuenta no sólo con los nutrientes propios del suelo sino con aquellos que se han adicionado junto con los lodos (Carrillo, 2000).

Factores como el tipo de suelo influyen en la supervivencia de bacterias coliformes fecales. Jamieson *et al.* (2002) determinaron que la supervivencia de *Escherichia coli* en suelo que ha sido regado con agua residual luego de un período de 8 días es mayor que en suelo que no ha sido regado; esto se debe en parte a que los suelos regados aumentan la capacidad del suelo para retener humedad.

Además, partículas finas de suelo pueden incrementar la supervivencia bacteriana ya que se asocian a la habilidad para retener nutrientes. Por tanto, la aplicación de biosólidos al suelo determina una mejoría en la estructura del suelo, ya que la materia orgánica ayuda a mantener la porosidad del suelo lo que permite el paso del agua y aire a través del mismo.

En la tabla 4 se presentan los valores promedio de pH para cada tratamiento. Éstos fueron de 7.3 para T1, 7.2 para T2 y 7.3 para T3, mientras que el control mostró tendencia a la acidez. La influencia del pH del medio puede ir desde su efecto sobre la expresión de genes y regulación del transporte de protones, la degradación de los aminoácidos, la adaptación a condiciones ácidas o básicas y la virulencia. A un pH mayor de 6.0 las células bacterianas ajustan su pH interno a través de la res-

Tabla 4
pH del suelo en los diferentes tratamientos

TIEMPO	pH DEL SUELO			
	DÍA 0	DÍA 8	DÍA 15	DÍA 30
T1	7.6	7.1	7.3	7.3
T2	7.4	7.1	7.2	7.1
T3	7.4	7.1	7.1	6.9
T4	5.1	5.1	5.3	5.1

puesta homeostática modulando la actividad de las bombas de protones (Carrillo, 2000). Asano (1987) establece que el mecanismo por el cual niveles elevados de pH causan mayor alteración en coliformes fecales, así como la capacidad de inactivación por longitudes de onda larga, puede deberse a que el pH disminuye la resistencia de los microorganismos a los efectos de la radiación solar o incrementa la producción de formas tóxicas de oxígeno e induce cambios en la ionización o configuración de algunas moléculas implicadas en este proceso. De esta manera, la alteración en las membranas hace pensar que frente a un aumento en el pH, puede generar flujo de iones hidroxilos los cuales incrementan el pH interno de coliformes fecales o enterococos, alterando su funcionamiento y viabilidad.

En relación al rango de radiación solar promedio durante el período del estudio osciló entre 180 y 250 w/m². Los microorganismos son inactivados por luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos. La radiación UV es absorbida por nucleótidos (Sonntag & Schuchmann, 1992), favoreciendo la formación de uniones entre nucleótidos adyacentes, creando moléculas dobles o dímeros (Jagger, 1967). Mientras que la formación de dímeros de tiamina-tiamina son los más comunes, también suelen ocurrir dímeros

de citosina-citosina, citosina-tiamina, y dimerización del uracilo.

CONCLUSIONES

- No se presentó una diferencia estadísticamente significativa en la reducción de coliformes fecales entre los tratamientos, durante el período de evaluación.
- La reducción de coliformes fecales para cada uno de los tratamientos fue mayor al 30%. El tratamiento que presentó mayor disminución en la concentración de coliformes fecales fue T3 con un porcentaje de reducción de 78,5%; y para los demás tratamientos fue de 38,1% para T1 y 53,8% para T2. El tratamiento T3 (mezcla 2:1 v/v de arena y biosólido) puede ser utilizado para la restauración de áreas disturbadas debido al alto porcentaje de reducción que presentó: 78,5%.
- La radiación solar, temperatura ambiente, el porcentaje de humedad y precipitación influyen significativamente en la reducción de coliformes fecales.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento Administrativo del Medio Ambiente DAMA.

LITERATURA CITADA

- ALCAÑIZ, J.M. & ORTIZ, O. 1998. Utilización de lodos de depuración en la rehabilitación de suelos de cantera. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestales (CREAF) Unitat de Ecologia. Universitat Autònoma de Barcelona. 28-34 pp.
- ARROYO, M. & QUESADA, R. 1998. Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y agua contaminada por hidrocarburos. GEOCISA. División ambiental de suelos, 9 pp.
- ASANO, T. 1987. Irrigation with reclaimed municipal wastewater. *Geojournal* 15: 273-282.
- BOUMA, J.; CONVERSE, J.C. & MAGDOFF, F.R. 1981. A mound system for disposal of septic tank effluent in shallow soils over creviced bedrock. In: Proceedings of the International Conference on Land for Waste Management, Agricultural Institute of Canada, Ottawa, Canada.
- CARRILLO, L. 2000. *Vida y muerte de los microorganismos. Microbiología agrícola*. Capítulo 2. Universidad de Salta. España; 1-23.
- Environmental Protection Agency. 1995. Parte 503 Biosolids Rule. Uso y disposición de lodo municipal. Cincinnati, Ohio. USA, 177 pp.
- Environmental Protection Agency. 1999. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. EPA/625/R-92/013. Cincinnati. Ohio. USA, 177 pp.
- ESTRADA, DE LUIS. 2003. Influencia de la temperatura en la evolución de la población de aerobios totales y de microorganismos patógenos en un suelo tratado de lodo de depuradora urbano. 6: 1-7.
- JAGGER, J. 1967. *Introduction to research in ultraviolet photobiology*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc, 164 pp.
- JAMIESON, R.; GORDON, K.; SHARPLES, G.; STRATTON, W. & MADANI, A. 2002. Movement and persistence of fecal bacteria in agriculture soils and subsurface drainage water. *Canadian Biosystems Engineering*, 44 (1): 1-19.
- KIBBEY, H.J.; HAGERDONRN, C. & MCCOY, E.L. 1988. Use of fecal Streptococci as indicators of pollution in soil. *Applied and Environmental Microbiology* 35 (4): 711-717.
- KLIGLER, I.J. 1921. Investigation on soil pollution and the relation of the various types of privies to the spread of intestinal infections. Rockefeller Institute of Medical Research, New York. *Monograph* No. 15, 75 pp.
- PALACIOS, P.; LUPIOLA, E.; DEL NERO, A.; PARDO, F. & RODRÍGUEZ, M.L. 1999. Primeros resultados del estudio de la persistencia de *Salmonella* en la zona no saturada del suelo agrícola. IV Jornadas sobre Investigación de la Zona no Saturada del Suelo. Canarias, 4 pp.
- SONNTAG, C. & SCHUCHMANN, H.P. 1992. UV Disinfection of drinking water and by product formation some basic considerations. 41 (2): 67-74.

Recibido: 30-11-2006

Aprobado: 15-05-2007