



INTRODUCCIÓN

EXPERIENCIAS PILOTO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE CANTERAS MEDIANTE EL USO DE BIOSÓLIDOS COMO ENMIENDA ORGÁNICA EN BOGOTÁ

J. I. Barrera-Cataño¹, C. Campos² y S. Montoya³

¹*Escuela de Restauración Ecológica (ERE), Unidad de Ecología y Sistemática (UNESIS), Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana. Carrera 7ª No. 43- 82, Edificio Jesús Emilio Ramírez, laboratorio 408B. barreraj@javeriana.edu.co.*

²*Departamento de Microbiología, Pontificia Universidad Javeriana
Carrera 7ª No. 42-27, Bogotá, Colombia.
campos@javeriana.edu.co.*

³*Grupo de Restauración Ecológica, Secretaría de Ambiente de Bogotá D.C.
patty100597@hotmail.com.*

El estado actual de los cerros orientales de Bogotá es una consecuencia de los procesos de alteración y transformación que han sufrido sus ecosistemas originales principalmente en los últimos 400 años. Por tal motivo, es común encontrar desde el extremo sur hasta el extremo norte y desde la parte más baja hasta la parte más alta, escenarios en diferente estado de alteración, tales como: áreas afectadas por expansión urbana, uso agropecuario, plantaciones forestales, matorrales de retamo espinoso, áreas en regeneración con vegetación nativa y exótica después de incendios forestales, canteras y relictos de vegetación nativa.

Por otra parte, se ha definido que los cerros han jugado y juegan un gran papel en la sostenibilidad del altiplano y de la ciudad debido a que en sus páramos nacen importantes quebradas y ríos que son afluentes del río Bogotá, la vegetación existente contribuye en los procesos de control de erosión, en la depuración del aire, sirve de hábitat para muchas especies de fauna y tienen un gran valor escénico. A través de la historia han servido de despensa de maderas, de arcillas, arenas, recebo y piedra para la industria de la construcción. En la actualidad existen entre cien y ciento cincuenta canteras sobre las laderas de los cerros que se encuentran en estados diferentes de lo que es un proceso de explotación: a) canteras abandonadas con procesos de restablecimiento natural en algunos sitios y degradación en otros, b) canteras en explotación y adecuación geomorfológica y paisajística de acuerdo a su Plan de Recuperación y Manejo Ambiental (PRMA), c) canteras con recuperación ecológica de acuerdo a su PRMA y d) canteras recuperadas para uso urbano, entre otros.

Las canteras son un tipo de actividad minera a cielo abierto que destruye completamente los componentes de los ecosistemas como son la cobertura vegetal, la fauna y el suelo, además, altera las condiciones microclimáticas. Cuando la explotación a cielo abierto se realiza sin un plan de explotación y por supuesto un plan de recuperación, al momento de

cierre es factible apreciar: taludes inestables, taludes sin un manejo de aguas superficiales, y la ausencia de un sustrato orgánico que pueda ser utilizado para acelerar el recubrimiento vegetal.

Debido a la importancia que los cerros orientales han tenido y tienen para la ciudad, el Departamento Técnico Administrativo de Medio Ambiente (DAMA) ha considerado fundamental contar con un plan de manejo y conservación, donde uno de los aspectos más relevantes sea la restauración ecológica para lograr su sostenibilidad. En este sentido, se ha considerado como de gran relevancia, el contar con experiencias piloto de investigación en el tema, que puedan aportar a futuro las herramientas necesarias para neutralizar el efecto de los factores tensionantes y limitantes de los ecosistemas y permitan, por lo tanto, acelerar el proceso de restablecimiento natural.

En el presente número se indican los resultados de diferentes investigaciones que evalúan el uso de los biosólidos como enmienda orgánica y como estrategia de restauración ecológica, de áreas afectadas por la extracción de materiales a cielo abierto en la cantera Soratama.

1. Estudio comparativo del ensamblaje de coleópteros en diferentes áreas de la cantera Soratama, Bogotá.
2. Caracterización florística y estructural de la vegetación vascular en áreas con diferente condición de abandono en la cantera Soratama, localidad de Usaquén, Distrito Capital.
3. Efecto de la aplicación de biosólidos, como enmienda orgánica, en la recuperación de un suelo disturbado por actividad extractiva en la cantera de Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá D.C.
4. Efecto de la aplicación de biosólidos sobre el desarrollo de la vegetación en las primeras etapas sucesionales en la cantera Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá D.C.
5. Efecto de la aplicación de biosólidos sobre el repoblamiento de la macrofauna edáfica en la cantera Soratama, Bogotá D.C.
6. Comportamiento de los fagos somáticos en mezclas de biosólidos y áridos utilizados para la restauración ecológica de la cantera de Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá D.C.
7. Comportamiento de coliformes fecales como indicadores bacterianos de contaminación fecal en diferentes mezclas de biosólidos y suelo utilizadas para la restauración ecológica de la cantera Soratama.

Los resultados de las investigaciones dan evidencia del efecto de las explotaciones a cielo abierto sobre los ecosistemas. Los primeros trabajos analizan los ensamblajes de coleópteros y la vegetación existente en áreas con diferente condición de abandono dentro de la cantera, mostrando que a mayor estado de alteración menor es la diversidad. La mayor

riqueza de especies se registró en el área menos intervenida, mientras que la mayor dominancia se registró en la zona donde fueron depositados los estériles de la cantera.

Los proyectos que consideraron el uso de los biosólidos como enmienda orgánica, mezclados con estériles (volumen/volumen), tuvieron como propósito valorar su efecto sobre el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del sustrato, el repoblamiento vegetal, la macrofauna edáfica y además analizar el comportamiento de organismos patógenos. Las mezclas se realizaron de la siguiente manera:

1. tratamiento 1 (T1): 8 partes de estéril por 1 de biosólido (8:1)
2. tratamiento 2 (T2): 4 partes de estéril por 1 de biosólido (4:1)
3. tratamiento 3 (T3): 2 partes de estéril por 1 de biosólido (2:1)
4. control (C) sin ninguna proporción de biosólidos

En el caso específico de las propiedades físicas y químicas del sustrato, se registró que la adición de biosólido incrementó significativa y proporcionalmente a las dosis aplicadas, los contenidos de carbono orgánico, pH, nitrógeno, fósforo, capacidad de intercambio catiónico, bases totales, humedad y porosidad del suelo; los valores se mantuvieron a lo largo de todo el experimento. También se presentó inicialmente un mayor contenido de carbono orgánico en la profundidad de 15 a 30 cm, debido probablemente al proceso de lixiviación y mineralización.

Los análisis mostraron que el tratamiento 3 (T3), con la dosis más alta de biosólido, presentó los mejores resultados en cuanto al mejoramiento del sustrato ya que se incrementaron los contenidos de nutrientes para las plantas y se mejoraron las condiciones físicas de dicho sustrato.

Respecto de la fauna edáfica el repoblamiento se empezó a evidenciar a partir del segundo muestreo (3 meses después de la implementación) y fue exclusiva de los tratamientos con biosólidos. Las familias más abundantes en los tratamientos fueron *Enchytraeidae* y *Staphylinidae*. En el caso de los estados inmaduros el repoblamiento se empezó a evidenciar a partir del tercer muestreo (6 meses después de la implementación). Con los datos obtenidos durante las primeras fases de la sucesión se puede concluir que la aplicación de biosólidos favorece la recolonización de la macrofauna edáfica y se ve más favorecida en los tratamientos T2 y T1 que son las que poseen menor proporción de biosólidos, a los 9 meses de la implementación.

Con respecto a la vegetación se registró un incremento mayor en la altura y cobertura en los tratamientos con biosólidos y sus diferencias fueron significativas con respecto al control. La composición florística fue dominada por hierbas de las familias *Poaceae* y *Asteraceae*. La diversidad y riqueza de especies aumentaron en el tiempo y fueron mayores en el tratamiento 1 (T1). La mayor parte de las especies registradas que fueron dominantes presentaron el atributo vital DT que corresponde a una dispersión efectiva, generación de un banco de semillas y tolerancia a la competencia; también dominaron las especies perennes. Para los nueve meses del estudio se evidenció que los tratamientos T1 (8:1) y T2 (4:1) son los que mejor favorecen el crecimiento de la vegetación y aumentan la diversidad y riqueza de las plantas.

En conclusión se puede decir que, en comparación con el control, los biosólidos mezclados con estériles favorecen el repoblamiento de la vegetación la macrofauna edáfica y las propiedades fisicoquímicas del sustrato. Los tratamientos con menor proporción de biosólidos favorecen la riqueza de especies pero no la abundancia. Por el contrario, los tratamientos con mayor proporción de biosólidos favorecieron mejor la abundancia de algunas especies. Las diferencias en la composición de especies dentro de los mismos tratamientos han sido influenciadas de manera diferencial por el área adyacente.

Con el objeto de estudiar el comportamiento de los indicadores bacterianos (coliformes fecales) y virales (fagos somáticos), se utilizaron las mismas parcelas del experimento de restauración ecológica de la cantera Soratama, presentadas en los párrafos anteriores, y el seguimiento se realizó durante 90 días. Se tomaron un total de 60 muestras para coliformes fecales y 48 para fagos somáticos y se analizaron por la técnica EPA/625/R92/013 para coliformes fecales y la técnica por elusión de Lasobras (1999), y el método para detección y cuantificación de fagos somáticos en aguas de la ISO 10705-2 (1999).

La concentración final de coliformes fecales fue de 2.3×10^3 para T1, 1.6×10^2 para T2 y 1.2×10^1 UFC/g de peso seco para T3; con un porcentaje de reducción de 38, 54 y 79% respectivamente. El análisis estadístico mostró que factores como la radiación solar, temperatura ambiente, humedad y precipitación influyen en la reducción de los coliformes fecales. La concentración final de fagos somáticos fue de $< 1,1 \times 10^0$ para T1 y T2 y 1.7×10^0 de peso seco para T3 con un porcentaje de reducción de 98 y 99% respectivamente.

Debido a que la concentración de fagos somáticos en el biosólido al momento de preparar las muestras fue baja y el período de almacenamiento de los biosólidos en la cantera coincidió con época de lluvias, se decidió realizar una simulación utilizando el biosólido de la planta El Salitre expuesto a las lluvias y un control protegido de las mismas para determinar si el período de lluvias explicaba la reducción de los fagos. Se encontró que en el control la concentración final después de 28 días fue en promedio de 4.2×10^2 /g de peso seco y en el experimento del biosólido expuesto a las lluvias la concentración final fue de 3.3×10^3 /g de peso seco. Se observó, que el factor que presentó mayor influencia en la reducción de la concentración de fagos somáticos fue la humedad y que a pesar de la pérdida de los mismos por el cambio de carga generado por las aguas lluvias, las concentraciones seguían siendo altas debido probablemente a la reproducción de los fagos en la célula huésped que seguía estando presente.

De acuerdo a los resultados encontrados se concluye que la concentración de coliformes fecales después de tres meses de muestreo disminuye a valores similares a las de los biosólidos de clase A, lo que elimina el riesgo sanitario. En relación a los fagos hace falta realizar nuevas experiencias que permitan evaluar la reducción en el tiempo y estudiar el comportamiento de los huevos de helminto ya que son los más resistentes a las condiciones ambientales y por consiguiente los más difíciles de eliminar.

Se recomienda que el personal que trabaja en el montaje y seguimiento de este tipo de actividades esté debidamente protegido con overol, botas, tapabocas y gafas, especialmente en los tres primeros meses después de la disposición del biosólido. Durante este período se debe restringir el acceso al público o personal no autorizado y debidamente protegido.

Se debe prestar atención a las fuentes de aguas subterráneas y superficiales cercanas a la zona de estudio para evitar problemas de contaminación por escorrentía o infiltración al terreno. De igual forma se recomienda la aplicación del biosólido en época seca.

Los resultados obtenidos en esta primera evaluación son muy prometedores en relación al uso de los biosólidos para restauración de canteras. Sin embargo, es necesario continuar con los estudios a nivel microbiológico con indicadores bacterianos, virales y parasitarios que permitan evaluar de manera más eficiente el riesgo a nivel ambiental y sanitario.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA) y la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ), en el marco del Convenio 017/2003, por la asignación de los recursos para la realización del presente proyecto. A la bióloga Sandra Montoya por su acompañamiento y constantes comentarios. A los estudiantes y ahora profesionales que llevaron a feliz término dicho trabajo. Y por último a los compañeros de la Escuela de Restauración Ecológica por sus valiosos comentarios y aportes.