

# Biosólidos, producto del manejo integral de lodos residuales de plantas de tratamiento de agua

Por Gustavo García Montoya \*

En la decenio de los 70, las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. –EPPM- iniciaron el programa de saneamiento del río Medellín y sus quebradas afluentes. A partir de mayo de 2000, para resolver el problema de contaminación del río en el sur del valle de Aburrá, entró en operación la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando, ubicada en el municipio de Itagüí y con capacidad para tratar 1,800 l/s de las aguas servidas generadas en los municipios de Envigado, Itagüí, La Estrella y Sabaneta.

La entrada en operación de la planta San Fernando también dio inicio a la producción de lodos residuales, los cuales, para ser usados sin generar riesgos ambientales, requieren tratamientos adicionales de estabilización mediante procesos de digestión anaerobia con tiempos de detención de 16 días y temperatura de 36°C. Este proceso convierte los lodos residuales en materiales aprovechables llamados **biosólidos**.

Los biosólidos son un subproducto originado luego del proceso de estabilización de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales. La estabilización se realiza para reducir su nivel de patogenicidad, poder de fermentación y capacidad de atracción de vectores. Dado lo anterior, estos biosólidos no son tóxicos ni peligrosos, y pueden ser usados sin riesgos ambientales en restauración de suelos degradados, agroindustria, fase de cierre de rellenos sanitarios y en la fabricación de elementos para la construcción.

## NORMATIVIDAD DE BIOSÓLIDOS

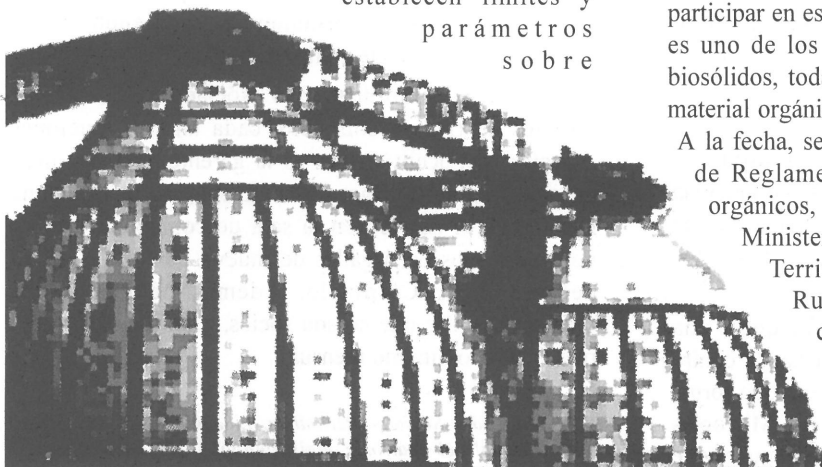
Las regulaciones sobre biosólidos en el mundo establecen límites y parámetros sobre

diversas consideraciones; por ejemplo, sobre las concentraciones de metales pesados, muy similares en las normatividades de Estados Unidos de América y la Unión Europea, las cuales han sido imitadas en muchos otros países. Estados Unidos recomienda calcular las tasas de aplicación de acuerdo con el contenido de nutrientes del biosólido y los requerimientos de los cultivos agrícolas. Principalmente en Europa, se controla la tasa de aplicación (concentración de metales pesados por hectárea) y específicamente en España, el límite de los metales pesados depende del pH del suelo.

La mayoría de normatividades regulan los mismos indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales y huevos de helminto) y establecen la necesidad de tratamiento de los lodos (digestión anaeróbica, aeróbica, secado térmico, estabilización química, etc.), para que, convertidos en biosólidos, puedan aplicarse al suelo.

Desde el año 2000, las Empresas Públicas de Medellín E.S.P., en compañía de Bogotana de Aguas y Saneamiento -operadora de la planta del Salitre en Bogotá- y Emcali -operadora de la planta Cañaveralejo en Cali-, iniciaron contactos con el entonces Ministerio de Medio Ambiente para gestionar una norma nacional que permitiera el manejo y uso adecuado de los biosólidos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales del país. Como resultado de este trabajo se han generado varios borradores, siempre en concordancia con la Norma 40CFR503 de la EPA, modelo de casi toda la normatividad mundial. En el año 2003, se invitó al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural a participar en este proyecto, debido a que el sector agrario es uno de los más comprometidos con el uso de los biosólidos, toda vez que éstos fueron catalogados como material orgánico esencial para la agroindustria nacional.

A la fecha, se han realizado 12 versiones del Proyecto de Reglamentación para el manejo de materiales orgánicos, el cual se espera sea sancionado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el de Agricultura y Desarrollo Rural. A grandes rasgos, este decreto considera los materiales orgánicos desde lo fisicoquímico y lo microbiológico en tres categorías, A, B y C, reglamentando para cada una, formas de uso y disposición final.



**Categoría A:** Fertilizantes o abonos orgánicos que pueden usarse sin restricciones en el sector agrícola, en áreas destinadas al ornato y la recreación y en tratamientos biológicos de suelos, entre otros. Incluye biosólidos sometidos a procesos adicionales de estabilización, tales como el compostaje con otros elementos ricos en carbono.

**Categoría B:** Abonos o fertilizantes orgánicos, incluidos los biosólidos, que pueden aplicarse a: Restauración de suelos degradados de uso no agrícola; áreas destinadas al ornato y la recreación; coberturas finales y/o intermedias de rellenos sanitarios; y en el sector forestal.

**Categoría C:** Materiales que no cumplen con los valores de referencia establecidos para las categorías A y B y que pueden aprovecharse en actividades de construcción o disponerse finalmente en rellenos sanitarios.

### ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE BIOSÓLIDOS

En todo el mundo se da prelación al aprovechamiento productivo de los biosólidos. La disposición en rellenos sanitarios y la incineración son las últimas opciones contempladas; sin embargo, en algunos países y regiones carentes de suelos aptos, constituyen la única alternativa de manejo. La gestión de biosólidos debe considerar la mayor cantidad posible de opciones de utilización, ya que es posible la saturación del lugar de recepción o no se requiera más material.

En el ámbito internacional, las alternativas de aprovechamiento identificadas para los biosólidos, son las siguientes:

- ◆ Agrícola y pecuario.
- ◆ Silvicultura (plantaciones forestales, viveros).
- ◆ Recuperación de suelos degradados.
- ◆ Adecuación de zonas verdes (separadores viales, parques).
- ◆ Elaboración de abonos y enmiendas para suelos.
- ◆ Cobertura intermedia o final de rellenos sanitarios.
- ◆ Biorremediación de suelos contaminados.
- ◆ Elaboración de materiales de construcción.
- ◆ Las opciones de disposición final son:
- ◆ Codisposición (disposición conjunta con residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios).
- ◆ Monodisposición (rellenos exclusivos para biosólidos).
- ◆ Incineración (reducción de volumen con el inconveniente de generar cenizas que es necesario disponer).
- ◆ Las Empresas Públicas de Medellín han realizado varias investigaciones con el fin de establecer la mayor cantidad de posibilidades para el aprovechamiento de los biosólidos generados en la planta San Fernando, entre las cuales se cuentan:
- ◆ Restauración de suelos degradados por la industria minera.

- ◆ Fabricación de abonos o fertilizantes orgánicos mediante procesos de compostaje.
- ◆ Revegetación de taludes.
- ◆ Agroindustria (fique).
- ◆ Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.
- ◆ Ensayos con lombricultura.
- ◆ Producción de materiales para la construcción.
- ◆ Aplicación como enmienda para suelos pobres en materia orgánica.

### CARACTERÍSTICAS Y USOS DE LOS BIOSÓLIDOS DE LA PLANTA SAN FERNANDO

Caracterizar los biosólidos es fundamental para su adecuada gestión, ya que el contenido de metales pesados y enterobacterias totales, determina la modalidad de aprovechamiento. El control de los biosólidos se basa en análisis de parámetros fisicoquímicos, y microbiológicos. En la actualidad, la planta San Fernando genera aproximadamente 90 t/día de biosólidos (29 toneladas base seca). En las tablas 1 y 2 se presentan las características de los biosólidos generados en la planta San Fernando de la Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

**TABLA 1. Concentración de metales pesados en los biosólidos de la planta San Fernando. Año 2003.**

Parámetro	Promedio 2003 PTAR San Fernando. mg/Kg	Límite máximo de Concentración (EPA)
	mg/kg bs	mg/kg bs
Cadmio	1.84	85
Cromo	2644.51	No regulado
Níquel	132.90	420
Plomo	77.64	840
Cobre	346.49	4300
Zinc	1211.58	7500
Mercurio	<0.670	57
Molibdeno	3.24	75
Arsénico	<0.656	75
Selenio	<0.941	100

**TABLA 2. Análisis bacteriológicos de biosólidos de la planta San Fernando. Año 2003.**

Parámetro	Unidades	2003/03/06	EPA 503
Coliformes fecales	NMP/g bs	630.957	< 6 = 2x10 <sup>6</sup>
Huevos de helminto	HE/g bs	0.79	15/g
Salmonella SP	UFC/g bs	0.13	10 <sup>2</sup> /g
Potencia bacteriana	UFC/g bs	1.348,962	-

El resultado de Coliformes fecales, potencia bacteriana y Salmonella es la media geométrica de 7 muestras de biosólido.

### ESTUDIOS INICIALES REALIZADOS POR LAS EPPM

Para conocer más sobre el tema de los biosólidos, debido a que en Colombia no había experiencia de producción, ni normatividad sobre su uso y manejo, EPPM contrató con la Universidad Pontificia Bolivariana, en 2000, la "Consultoría y realización de proyectos para la disposición de biosólidos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando,

incluyendo las recomendaciones que para su implementación se deben adoptar”. El desarrollo de este contrato se dividió en dos fases.

La primera fase consistió en un análisis prospectivo con dos objetivos: 1. Adquirir conocimiento de antecedentes mundiales sobre el manejo, alternativas de uso y disposición final; en estas prácticas se encontraron las siguientes aplicaciones productivas: Coberturas superficiales en rellenos sanitarios, agricultura, industria forestal, restauración de suelos degradados y valoración térmica, y 2. Identificar alternativas de uso a corto y mediano plazo; de este trabajo reobtuvieron dos resultados: La identificación de varios sitios degradados que podían ser restaurados mediante su revegetación, y la posible generación de abonos ó fertilizantes para el sector agrícola.

Previo al desarrollo de la segunda fase del contrato, se caracterizó el biosólido de la planta San Fernando desde el punto de vista fisicoquímico y bacteriológico, y se constató que los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, estuvieran dentro de los niveles permitidos de metales pesados y bacteriológicos sugeridos en la norma 40CFR503 de la EPA (Environmental Protection Agency) de Estados Unidos, que establece los requerimientos para uso y disposición de lodos residuales estabilizados y crudos (Tablas 3 y 4). Adicionalmente, los resultados obtenidos se compararon con los de otros biosólidos generados en más de 4.500 plantas de aguas residuales con procesos unitarios similares en Estados Unidos, lo que permitió concluir que los de las Empresas Públicas de Medellín presentaban características fisicoquímicas y bacteriológicas límites semejantes a las de aquellos.

**TABLA 3. Límites contaminantes para aplicación de lodos (\*) en suelos.**

Parámetro	Concentraciones máximas para lodos aplicados al terreno (mg/Kg)	Concentraciones límites para biosólidos EQ y PC (mg/Kg)
Arsénico	75	41
Cadmio	85	39
Cromo (1)	-	-
Cobre	4300	1500
Plomo	840	300
Mercurio	57	17
Molibdeno (1)	75	-
Níquel	420	420
Selenio	100	36
Zinc	7500	2800

(\*) Traducción del término “sludge”.

**EQ:** Biosólidos de calidad excepcional, niveles bajos de contaminantes y virtual ausencia de patógenos.

**PC:** Biosólidos de concentración contaminante; poseen los mismos niveles bajos de contaminantes de EQ pero con niveles detectables de patógenos, aunque no presentan amenaza para la salud pública.

(1) Eliminados por la EPA debido a que en estudios de campo no se han comprobado los efectos nocivos de estos metales.

**TABLA 4. Límites contaminantes para aplicación de lodos en suelos.**

Parámetro	Unidades	EPA 503
Coniformes fecales	NMP/g	< ó = 2x10 <sup>6</sup>
Huevos de helminto	HE viable/g	15/g
Salmonella SP	UFC/g	10 <sup>3</sup> /g

NMP: Número más probable.

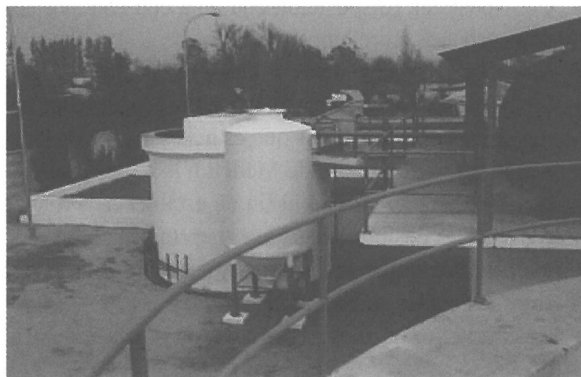
HE: Huevos de helminto.

La segunda fase del contrato consistió en el montaje de ensayos pilotos industriales sobre la aplicación de biosólidos para la restauración de suelos degradados y en la formulación de un abono o fertilizante orgánico mediante procesos de compostaje del biosólido con otros materiales carbonáceos.

Para el ensayo de restauración de suelos se construyeron seis eras con diferentes mezclas de biosólido/suelo; en cada una de ellas se sembraron 2 especies de bioindicadores –*Raphanus sativus* (Rábano) y *Brachiaria decumbens* (Pasto)- y se estudió el cambio de las propiedades físicas, químicas y de la actividad microbiológica desde el inicio hasta el fin del ensayo; además, se analizó el crecimiento y desarrollo de los bioindicadores y la cantidad y calidad del lixiviado generado.

Con el ensayo se concluyó que la aplicación del biosólido sobre un suelo totalmente degradado, generaba en el horizonte superficial de este suelo una estructura con suficientes materia orgánica y nutrientes para propiciar el desarrollo vegetal. Basado en comparaciones por similitud, se concluyó, además, que se podían aplicar sin riesgos ambientales en la industria forestal y en coberturas finales de rellenos sanitarios, siempre de acuerdo a parámetros establecidos sobre las características del suelo receptor, la calidad del biosólido, las tasas y periodicidad de aplicación, la morfología del suelo y la ubicación geográfica.

Para concluir si los lixiviados generados en el ensayo eran o no peligrosos, se sometieron al análisis CRETIB, que permite determinar el grado de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad (TCLP), ignición y contenido biológico. Gracias a ello, se pudo determinar su inocuidad, como se indica en la Tabla 5.



**TABLA 5. Análisis CRETIB del biosólido de la planta San Fernando, mayo de 2001.**

Parámetro	Regulación EPA 40 CFR.261 mg/l	Biosólido San Fernando
Arsénico	5.0	Menor 0.0005
Bario	100	Menor 0.04
Cadmio	1.0	Menor 0.0005
Cromo	5.0	4.34
Mercurio	0.2	Menor 0.065
Plomo	5.0	1.04
Plata	5.0	Menor 0.01
Selenio	1.0	Menor 0.005
Corrosividad pH	Menor 12 y mayor 2	8.35
Ignición		NO
Reactividad		NO
Inflamabilidad		NO

**TABLA 6. Concentraciones de metales pesados para categoría A.**

Parámetro	Valor de referencia para abonos o fertilizantes orgánicos (mg/Kg).
Arsénico	41
Cadmio	39
Cromo	1200
Cobre	1500
Plomo	300
Mercurio	17
Molibdeno	25
Níquel	420
Selenio	100
Zinc	2800

**TABLA 7. Parámetros microbiológicos para categoría A**

Parámetro	Valor de referencia para abonos o fertilizantes orgánicos
Enterobacterias totales.	<1000 NMP ó UFC/g de producto final
Huevos de helminto	<1 HE viable/4g de producto final
Salmonella SP	Ausente en 25 g de producto final

Para determinar la utilidad del biosólido como materia en la elaboración de compost, se realizaron varias pruebas preliminares en el laboratorio a fin de seleccionar parámetros tales como materiales de soporte, tiempos y mezclas, a ser utilizados en un ensayo piloto industrial. Para ello, se construyeron 6 pilas con diferentes mezclas de biosólido, equinaza y aserrín; a cada pila se le midieron sus cambios en las propiedades físicas y químicas; se les realizó un seguimiento diario de temperatura; se observó su actividad microbiológica; se le llevó un control a la generación de olores y vectores; se le efectuó un seguimiento a la generación de lixiviados; se observó la reducción en el volumen final de compost y se analizó la calidad del producto final.

Al producto final del proceso de compostaje se le realizaron análisis de fitotoxicidad, presentando porcentajes de germinación superiores al 80 %; los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos entregaron resultados acordes con la proyectada norma NTC 5167 (Tabla 6 y 7), que regulará la calidad de los productos de la agroindustria.

Acorde con los resultados microbiológicos, el proceso de compostaje de biosólidos elimina la presencia de patógenos. La cantidad de nutrientes y materia orgánica que posee el producto final, amerita su consideración como un material con propiedades de abono ó fertilizante apto para ser usado en el sector agrario. Entre otras formas de su aprovechamiento, se encontró que se puede obtener ALER (áridos ligeros expandidos residuales) para emplearse en la industria de la construcción, con un ahorro significativo en la fabricación de concretos. La Universidad Pontificia Bolivariana y el Centro Nacional de Producción más Limpia, inspirados en este hallazgo, continúan adelantando investigaciones al respecto.

La conclusión obtenida tras el trabajo de investigación realizado por la Universidad Pontificia Bolivariana, es

que las concentraciones de metales pesados encontrados en los biosólidos generados en la planta de tratamiento de aguas de San Fernando se ubican en los límites establecidos por la EPA y, en tal sentido, pueden considerarse como materiales no tóxicos ni peligrosos; al contrario, su utilidad es manifiesta en la restauración de suelos degradados y en la elaboración de abonos y fertilizantes orgánicos.

\* *Ingeniero Sanitario. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando. Empresas Públicas de Medellín E.S.P.*  
garcia@epm.net.co

