

Los biosólidos: ¿una solución o un problema? *

Juan Alberto Vélez Zuluaga¹

Biosolids: A problem or a solution?

Os bio-sólidos: Uma solução ou um problema?

RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales urbanas en plantas de tratamiento es una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos que genera enormes volúmenes de lodos orgánicos altamente putrescibles. Para facilitar el manejo de éstos, se someten a procesos de espesamiento, digestión y deshidratación, adquiriendo así la categoría de biosólidos. La posterior utilización, sus cuidados y restricciones ambientales, dependerán de la concentración de metales pesados, contaminantes tóxicos y organismos patógenos. La persistencia de algunos metales y su ulterior magnificación con riesgos para la salud humana y medioambiental, imponen una activa vigilancia de todos los procesos de utilización y disposición final.

Palabras claves: Lodos orgánicos. Biosólidos. Metales pesados. Magnificación. Fitorremediación.

ABSTRACT

Treating urban waste waters in treatment plants is a combination of physical, chemical and biological processes that generate great volumes of organic mud, which are very putrescible. To ease the handling of these, they are thickened, digested and dehydrated, thus becoming biosolids. Their later use, care and environmental restrictions will depend on the concentration of heavy metals, toxic pollutants and pathogen organisms. The persistence of some metals and their magnification with risks for human and environmental health, require an active surveillance of all of the processes that involve their use and final disposal.

Key words: Organic mud. Biosolids. Heavy metals. Magnification. Fitoremediation.

* Investigación financiada con recursos del Contrato OB 1008600 y 1008601 de junio de 2007 entre Empresas Públicas de Medellín E.S.P y la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín y del Fondo de Fomento a la Investigación de la Corporación Universitaria Lasallista

¹ Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional. Especialista en Planeación del desarrollo Rural de Israel. Magister en Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Nacional Sede Medellín. Profesor de la Corporación Universitaria Lasallista y miembro del Grupo de Investigación GAMA.

Correspondencia: Juan Alberto Vélez Zuluaga e-mail: juan@famicafe.org

Fecha de recibo: 04/10/2006; fecha de aprobación: 19/06/2007

ABSTRACT

O tratamento de águas residuais urbanas em plantas de tratamento é uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos que gera enormes volumes de lodos orgânicos altamente putrescíveis. Para facilitar o manejo destes, submetem-se a processos de engrossamento, digestão e desidratação, adquirindo assim a categoria de bio-sólidos. A posterior utilização, seus cuidados e restrições ambientais, dependerão da concentração de metais pesados, contaminantes tóxicos e organismos patogênicos. A persistência de alguns metais e sua ulterior ampliação com riscos para a saúde humana e meio ambiental, impõe uma ativa vigilância de todos os processos de utilização e disposição final.

Palavras chaves: Lodos orgânicos. Bio-sólidos. Metais pesados. Ampliação. Fitor-remediação.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las naciones produce el fenómeno del urbanismo, trayendo consigo problemas tan grandes como la generación continua y progresiva de todo tipo de residuos, sólidos, líquidos y gaseosos.

La producción de biosólidos a partir del tratamiento de aguas residuales no es nueva en el mundo, ofrece opciones comerciales a partir de su transformación en fertilizantes agrícolas.

LOS BIOSÓLIDOS

La gestión ambiental debe entenderse como un conjunto de operaciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino global más adecuado desde el punto de vista medioambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costo de tratamiento, posibilidades de recuperación, comercialización y normas jurídicas.

Definición:“(…) Por residuo puede entenderse cualquier substancia, objeto o materia del cual su poseedor se desprenda, o tenga la intención o la obligación de desprenderse”.¹

Generalmente todas las actividades domésticas e industriales generan residuos y en consecuencia el titular de la industria está afectado por la respectiva legislación que para tal efecto rige en los diferentes países.

Los residuos pueden calificarse como (a): asimilables a urbanos y (b): tóxicos y peligrosos

Las técnicas que existen para el tratamiento y eliminación de residuos asimilables a urbanos son: el vertido controlado, la incineración y el compostaje. La eliminación de residuos peligrosos contempla el vertido al mar y el movimiento transfronterizo de los mismos, para depositarlos en zonas degradadas¹.

Los lodos estabilizados o biosólidos son considerados residuos asimilables a urbanos y, aunque no pueden clasificarse como tóxicos ni peligrosos, si poseen contaminantes que obligan a su tratamiento.

El término contaminante (Environmental Protection Agency) –EPA- (Federal Register: 40 CFR Part 503)², en su legislación sobre utilización de lodos, es definido como un organismo patógeno o como una sustancia orgánica o inorgánica o la combinación de ambas, que al tener contacto con un organismo por vía dérmica, ingestión o inhalación, directamente del medio ambiente o a través de la cadena alimenticia, pueda causar la muerte, inducir cáncer, producir enfermedades, alteración del comportamiento, mutaciones genéticas, malformaciones fisiológicas y/o físicas o daños teratogénicos.

CONTAMINANTES DE LOS BIOSÓLIDOS

La calidad de los biosólidos depende fundamentalmente de cuatro grupos de contaminantes principales:

Metales. Principalmente zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr). Su potencial de acumulación en los tejidos humanos y su biomagnificación suscitan preocupaciones. Los metales están siempre presentes, en concentraciones bajas, en las aguas residuales domésticas, pero las concentraciones preocupantes son sobre todo las que se encuentran en las aguas residuales industriales³.

De otro lado, los metales pesados se encuentran de manera natural en la litósfera, hidrósfera y atmósfera en concentraciones tales que por lo general no perjudican las diferentes formas de vida. Sin embargo, los procesos antrópicos han ocasionado un paulatino aumento puntual de dichas concentraciones en los diferentes componentes del edafón⁴.

Nutrientes y materia orgánica. Su peligrosidad radica en su potencial de eutroficación para las aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo, se pueden considerar como fertilizantes valiosos al igual que la materia orgánica.³

Contaminantes orgánicos. Los plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tensoactivos y muchas otras moléculas orgánicas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de adsorción, tienden a acumularse en los lodos³.

Todos estos contaminantes son motivo de preocupación por sus efectos potenciales sobre el medio ambiente y sobre la salud humana. Una característica de las más importantes es su variado potencial de biodegradación.

Muchos se biodegradan lentamente, por lo tanto los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales con tiempos de residencia más largos, tendrán una mayor capacidad para biodegradar estos compuestos indeseables. La biodegradación también puede ocurrir después de esparcir los lodos en la tierra o durante el compostaje³.

El grupo de trabajo de la OMS sobre riesgos para la salud de los productos químicos presentes en los lodos residuales aplicados a las tierras, llegó a la conclusión de que la absorción total por el hombre, de contaminantes orgánicos procedentes

de la aplicación de lodos a las tierras de cultivo, es poco importante y probablemente no causará efectos adversos para la salud. Sin embargo, a pesar de que cada vez se investiga más el papel ecotoxicológico de los contaminantes orgánicos en el sistema suelo-planta-agua y en la cadena alimentaria, es aún poco claro.³

Agentes patógenos. Los agentes patógenos más importantes que se han encontrado en los lodos son las bacterias, los virus (especialmente enterovirus), los protozoos, los tremátodos, los céstodos y los nemátodos. Los residuos de animales sacrificados o muertos accidentalmente, los desechos hospitalarios y funerarios, entre otros, pueden elevar la carga y la diversidad de patógenos en el influente.

Para que cualquier vertido de lodos sea seguro, se precisa la eliminación o la inactivación eficaz de estos patógenos. A este fin, se puede aplicar a los lodos una serie de tratamientos, como la pasteurización, la digestión aerobia o anaerobia, el compostaje, la estabilización con cal, el almacenamiento en estado líquido, la deshidratación y el almacenamiento en seco³.

CLASIFICACIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS

Por su parte, la norma EPA² clasifica los biosólidos en:

Biosólido Clase A. Suelen llamarse de calidad excepcional. Presentan una densidad de coliformes fecales inferior a 1000 NMP por gramo de sólidos totales o la densidad de *Salmonella* sp. es inferior a 3 NMP por 4 gramos de sólidos totales. La densidad de virus entéricos debe ser menor o igual a 1 UFC por 4 gramos de sólidos totales y los huevos viables de helmintos inferiores a 1 por 4 gramos de sólidos totales.

Un biosólido con estos niveles que además tenga tratamiento para reducir vectores, no tendrá restricciones en su aplicación agraria y sólo será necesario solicitar permisos para garantizar que estas normas hayan sido cumplidas.

Biosólido Clase B. Con una densidad de coliformes fecales inferior a 2×10^6 NMP por gramo de sólidos totales o 2×10^6 UFC por gramo de sólidos totales. Este tipo de biosólidos deberá recibir tratamiento y será el que mayores restricciones presente para uso agrícola.

Además, la citada regla que rige el uso y eliminación de biosólidos establece límites cuantitativos relativos al contenido de metales presentes en ellos, normas de reducción de agentes patógenos, restricciones a los sitios de aplicación, condicionantes y supervisión de recolección de cultivos tratados, mantenimiento de registros y requerimientos de presentación de informes sobre biosólidos aplicados a la tierra, así como disposiciones similares para los que se desechan en rellenos sanitarios. Los biosólidos que se incineran tienen que satisfacer las normas relativas al contenido de metales y las disposiciones sobre emisiones que liberan al medio ambiente, incluidas las disposiciones de la Leyes de Aire Limpio

LA ELIMINACIÓN DE BIOSÓLIDOS

La eliminación de biosólidos contempla la incineración, el vertido controlado y el vertimiento en el mar. Esta última alternativa está en vías de ser abolida por todas las legislaciones en el mundo.

Los lodos se incineran básicamente por razones de rentabilidad. Con altos costos de transporte asociados a la aplicación en tierra, la incineración resulta económica. Algunos argumentan que este método es seguro y que no afecta el medio ambiente. El producto final de la incineración lo constituye una ceniza estéril, exenta de patógenos e inodora, según Gervin⁴.

Otros, sin embargo, atacan el método argumentando que algunas sustancias no pueden ser destruidas por la incineración y que por el contrario se transforman en formas más tóxicas.

La Ley de Aire Limpio rige las emisiones de la incineración que se liberan en el aire. Además, los biosólidos incinerados también se rigen por la misma regla de la disposición 40 CFR Parte 503 que atañe a la aplicación a la tierra². Esto significa que la incineración sería la más reglamentada de todas las opciones de utilización de los biosólidos.

Como resultado de una evaluación de biosólidos que duró una década, EPA concluyó que reciclar los biosólidos a la tierra era una solución ambientalmente responsable, cuando éstos se usan de acuerdo con la regla de la Parte 503². Las políticas federales que rigen el reciclamiento de los biosólidos se basan en rigurosos métodos científicos que han demostrado los beneficios de dicho reciclamiento. Estas políticas no están impulsadas por la economía, y la decisión de cuál opción debe seleccionarse sigue siendo una decisión local⁴.

Por su parte Alliende⁵ menciona que Vanden Hugues es considerado una autoridad mundial en la materia y que él destaca que el contexto legislativo reseñado no significa que el esparcimiento de los lodos sea riesgoso. Él sostiene que los numerosos estudios realizados en Europa han verificado ampliamente la inocuidad de esta práctica y la eficacia agronómica de los lodos. Esto ha ido de la mano con un paulatino cambio de enfoque con respecto a los biosólidos, desde una visión que los considera como un desecho, hacia otra que los ve como un producto que puede homologarse de acuerdo a ciertas normas de calidad y trazabilidad para venderse en el mercado. Esta es una tendencia creciente que se traduce cada vez más en centros de compostaje y secado de lodos.

Con respecto a los lodos, Tchobanoglus⁶ afirma que muchos países han optado por los vertederos controlados, el vertido al mar y la incineración, técnica ésta cuestionada, pues no parece ambientalmente segura ya que los metales pesados que suelen contener los residuos urbanos no pueden ser destruidos en la incineración. Además, algunas otras sustancias químicas como dioxinas y furanos, al volatilizarse, se bioacumulan en la proteína animal de explotaciones pecuarias aledañas a los incineradores.

Referente a la incineración, Dreisbach, citado por Altoaguirre⁷, menciona que en algunos casos los incineradores cambian la forma física o química de los metales de su forma elemental a óxidos metálicos o complejos organometálicos, o del estado sólido a vapor o finas partículas. Estos cambios pueden resultar en un incremento de la toxicidad. Por ejemplo, los óxidos de cromo, hierro y zinc y ciertas formas organometálicas de mercurio, manganeso o níquel, son más tóxicas que los metales en su forma elemental.

LA PRODUCCIÓN DE BIOSÓLIDOS

La producción de biosólidos a partir del tratamiento de aguas residuales no es nueva en el mundo. Se conocen reportes desde el siglo XIX y ya en 1920 existían opciones comerciales a partir de la transformación de los biosólidos en fertilizantes agrícolas.

“...Adicionalmente en otras ciudades de Estados Unidos se venden productos basados en el compostaje de los lodos, tales como el “MetroGrow”, en Madison-Wisconsin. En Los Angeles se comercializan los productos “Nitrohumus”, “Amend” y “Topper”. La cantidad transada por la compañía Kello Supply Inc. alcanza a 225.000 metros cúbicos por año”⁸.

En Milwaukee se comercializa desde 1920 “Milorganite” para plantaciones de naranja en Florida y es exportado a Japón, Canadá, Venezuela e India. Aproximadamente 50.000 toneladas son producidas anualmente. En Washington DC se comercializa el “Compro”, para los jardines de la Casa Blanca y el National Arboretum. La demanda de “Compro” excede a la oferta⁸.

“...En el condado de King, en el Estado de Washington, dos plantas de tratamientos de aguas servidas producen 100.000 toneladas húmedas de lodos (20.000 toneladas secas). Los biosólidos tratados son de la clase B y han sido utilizados en la agricultura y en la actividad forestal. Una porción de los biosólidos compostados se ha comercializado por el sector privado bajo la marca “GroCo” como un compost general para una variedad de aplicaciones incluyendo el uso en parques de la ciudad de Seattle. Este producto es compostado con aserrín”⁸.

En Austin, en el estado de Texas, se producen 50 toneladas secas de biosólidos por día. El 55% de los biosólidos son compostados y vendidos en el comercio a través de la marca “Dillo Dirt”. El 45 % restante es aplicado en actividades agrícolas. El producto es compostado con astillas de maderas y aserrín. La demanda de Dillo Dirt excede la oferta disponible⁸.

Sin embargo, como menciona Matthews³, los tiempos están cambiando y están apareciendo restricciones sobre todas las vías de eliminación de los lodos. Una legislación sobre eliminación de residuos más restrictiva, junto con la preocupación por los posibles riesgos medioambientales y sanitarios que conlleva el esparcir los lodos en tierras de cultivo, está haciendo más agudo el problema de la eliminación de los lodos. Simultáneamente, continúan construyéndose plantas de tratamiento

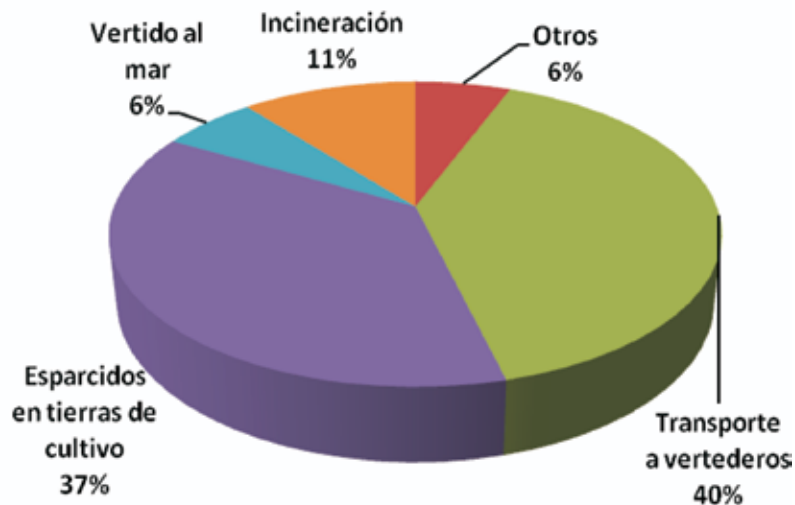
de aguas residuales con lodos activos, en cumplimiento de la directiva sobre aguas residuales, y previsiblemente continuarán funcionando como “fábricas de lodos” a largo plazo, con una producción imparable. Es, por tanto, esencial encontrar modos de eliminación factibles, seguros y sostenibles para los lodos residuales.

Por su parte Gervin⁴ afirma que EPA, ente rector para Norteamérica en materia de lodos y biosólidos, calcula que las 16.000 plantas de tratamiento de aguas residuales en Estados Unidos generaron aproximadamente 7 millones de toneladas de biosólidos en el 2005. Alrededor de 60% de todos los biosólidos fueron usados de manera benéfica como fertilizante en las tierras de cultivo.

Después del tratamiento, el 17% terminó enterrado en un relleno sanitario. El 20% se incineró y cerca de 3% fue relleno de tierra o cubierta de recuperación de minas. Sólo un pequeño porcentaje del total de la oferta de verduras se fertilizó con biosólidos.

Compárense las cifras anteriores con la situación en Europa para al año de 1994 (Gráfica 1) y podrá observarse una tendencia más agresiva en Norteamérica hacia la utilización de los lodos en el sector Agrícola.

Gráfica 1. Eliminación de lodos residuales en la Unión Europea en 1994 ⁹



DINÁMICA DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y REUTILIZACIÓN O ELIMINACIÓN DE LODO^S

La dinámica de los procesos de producción y reutilización o eliminación de lodos es grande. Día a día las investigaciones revelan formas tendientes a hacer de ésta una actividad económica, sin perder de vista la responsabilidad y sustentabilidad ambiental.

Recientemente las investigaciones han revelado las bondades de la biorremediación, y dentro de ella la fitorremediación, como muy promisorias, en virtud de sus

bajos costos. Con ello sigue creciendo el acervo tecnológico que permite pensar que el uso de biosólidos en tierras agrícolas podría llegar a ser una alternativa sustentable si se gestiona de manera responsable.

La biodegradación contribuye al reciclaje en los suelos, en el agua y en la atmósfera, de los diferentes nutrientes y minerales que sostienen la vida. Así, los ciclos de carbono y nitrógeno son esenciales en la naturaleza. En los últimos años se ha reconocido que la biodegradación también se puede aplicar a los residuos potencialmente tóxicos y se la ha desarrollado para detectar y aumentar la biorrecuperación natural *in situ*.

En efecto, la biorrecuperación o biorremediación, y dentro de ella la rizofiltración o fitorremediación, podrían dar buena cuenta de los temidos metales y convertirlos en formas menos tóxicas, o simplemente recuperarlos para reciclarlos¹⁰.

La biorremediación se ocupa de la utilización de sistemas biológicos, complejos enzimáticos, microorganismos o plantas, para producir rupturas o cambios moleculares de tóxicos, contaminantes y sustancias de importancia ambiental en suelos, aguas y aire, generando compuestos de menor o ningún impacto ambiental. Estas degradaciones o cambios ocurren usualmente en la naturaleza, sin embargo la velocidad de tales cambios es baja. Mediante una adecuada manipulación estos sistemas biológicos, pueden ser optimizados para aumentar la velocidad de cambio, y así usarlos en sitios con una elevada concentración de contaminantes.

Recientemente la fitorremediación se ha impuesto como una tecnología interesante que puede ser utilizada para biorremediar sitios con un alto nivel de contaminación. Básicamente, la fitorremediación es el uso de plantas vegetales para “limpiar” o “remediar” ambientes contaminados, debido en gran parte a la capacidad fisiológica y a las características bioquímicas que poseen algunos vegetales de absorber y retener contaminantes tales como metales, complejos orgánicos, compuestos radioactivos, elementos petroquímicos y otros.

Existe cierta evidencia a favor de la idea de que algunos transportadores específicos estarían dispuestos en las raíces de las plantas, e inclusive la alta inespecificidad en la absorción de oligoelementos. La simbiosis microbiana en la rizósfera jugaría un rol importante en algunos casos¹⁰.

Esta novedosa tecnología tiene muchas ventajas con respecto a los métodos convencionales de tratamientos de lugares contaminados, entre ellas se tienen: (a) es una tecnología de bajo costo, (b) posee un impacto regenerativo en los lugares donde se aplica y (c) su capacidad extractiva se mantiene, debido al crecimiento vegetal, que es capaz de sufrir modificaciones para aumentar su capacidad y selectividad extractiva. Un caso bien conocido es la modificación genética de la ***Arabidopsis thaliana*** para reducir el ion mercurioso¹⁰.

Seoanez¹¹ sostiene que la descomposición biológica es un fenómeno a tener en cuenta, por su incidencia sobre la mayor o menor persistencia de los compuestos orgánicos, procedan éstos de vertidos o bien sean de origen natural. Parece ser,

continúa este autor, que las aguas residuales y sobre todo los lodos que se originan en las estaciones de tratamiento, aumentan el contenido de Zn, Pb, Cu y Cd del suelo hasta una profundidad de 30 o 40 centímetros, apareciendo su máximo incremento en los primeros 5 centímetros de la superficie. El problema está en saber si la parte asimilable sigue el mismo proceso o si, por el contrario, su distribución es totalmente diferente. Según varios autores, los metales como contaminantes del suelo son persistentes e irreversibles, especialmente el Cadmio, el cual es asimilado por la vegetación, lo que puede perturbar gravemente a las plantas y a los mamíferos que las consuman.

Felipo (1995) afirma que la absorción de las plantas está condicionada tanto por el elemento, su concentración y grado de disponibilidad, como por la especie vegetal y la interacción con macronutrientes¹². Este autor además dice que la biodisponibilidad de metales en el sistema suelo-planta por aporte de lodos se ha estimado a partir de los coeficientes de transferencia, observándose que el Cd y el Zn poseen los valores más elevados. En general parece que la biodisponibilidad es superior para Cd, Cu, Ni y Zn que para Pb, Hg y Cr, pero incluso para los elementos más móviles la cantidad de metal transferida al cultivo es inferior a 0.05% de la cantidad aplicada anualmente por aporte de lodos.

La acumulación en determinados tejidos u órganos es variable. Algunos como por ejemplo el Cr y el Pb son bloqueados a nivel radicular. Otros como Cd y Hg son más zootóxicos que fitotóxicos, es decir, pueden acumularse en tejido vegetal hasta concentraciones que serían tóxicas para animales, sin efecto adverso para la planta. Por el contrario, la elevada fitotoxicidad del Cu, Ni y Zn hacen que el vegetal haga de barrera de protección frente a la cadena trófica¹².

La rizósfera, la zona donde se encuentra la raíz de la planta, ha sido indicada como un ambiente especialmente propenso para la biodegradación de la materia orgánica disponible. Los investigadores Aprill y Sims, citados por Sarubbi¹³, demostraron que la biodegradación de varios elementos se intensificó al sembrar pastos de pradera en los suelos contaminados con PAH (compuestos aromáticos polinucleares).

Anderson et al, citado por Sarubbi¹³, notó que la rizósfera contó con una población altamente diversificada de microorganismos, siendo dos o tres veces más abundantes que lo observado en los suelos cercanos sin hierbas. Lee y Banks, citados por el mismo autor, también observaron una población microbial notablemente mayor en la rizósfera de alfalfa (*Medicago sativa*) creciendo en suelos contaminados.

Diversos autores han clasificado los vegetales de acuerdo a la sensibilidad-tolerancia a los elementos potencialmente tóxicos, pero el criterio no es muy homogéneo para todos los elementos frente a una misma especie vegetal. En general, parece ser que en hortalizas los metales tienden a asimilarse con mayor facilidad que en las gramíneas, siendo al mismo tiempo más sensibles a la toxicidad las primeras y más tolerantes estas últimas¹².

A este respecto parecen notables las cualidades del pasto Vetiver (*Vetiveria zizanioides*), presentada por algunos autores como una planta bastante promisoría en el tema de la fitorremediación.

Troung¹⁴, del Departamento de Recursos Naturales de Queensland, ha desarrollado sistemas de fitorremediación con Vetiver (*V. zizanioides*) en algunas localidades como Yolo, al Norte de California, donde se presentan graves problemas de polución con mercurio.

Este autor sostiene que el Vetiver presenta una gran afinidad por la captura de metales pesados y que sucesivos ensayos llevados a cabo en Australia, China y Sur África, revelan que este pasto podría constituirse en una potente herramienta de fitorremediación¹⁴.

A pesar de que las investigaciones avanzan en el mundo industrializado, el trópico carece de investigaciones domésticas que den cuenta de las mejores alternativas para el uso de sus lodos y para sus biosólidos estabilizados, sin que las conclusiones de la zona templada deban extrapolarse.

El pH, los contenidos de materia orgánica, la textura y la dinámica de los suelos tropicales son muy diferentes a los de las zonas estacionales, por lo cual el comportamiento de los biosólidos será diferente una vez éstos sean dispuestos en la litosfera.

ALGUNAS EXPERIENCIAS EN AMÉRICA LATINA

México, Brasil, Chile y Argentina son los países que más esfuerzo han dedicado a validar algunas de las experiencias norteamericanas y europeas y, en algunos casos, a plantear nuevas hipótesis argumentativas.

En Colombia el proceso de tratamiento de aguas residuales es relativamente reciente y sólo ciudades como Bogotá, Medellín, Cali y Bucaramanga han utilizado este procedimiento. En este país tan sólo se han llevado a cabo algunos ensayos que, si bien es cierto han arrojado resultados preliminares interesantes, carecen de soporte estadístico.

En el caso particular de Medellín, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando, de propiedad de Empresas Públicas de Medellín E.S.P, genera unas 70 ton día⁻¹ de biosólidos, como producto del tratamiento de 1.100 L s⁻¹ de aguas servidas que deben ser evacuados permanentemente. Cifras de esta magnitud imponen la búsqueda de soluciones sostenibles.

A este respecto Empresas Públicas de Medellín E.S.P no sólo ha desarrollado ensayos en el pasado, sino que continúa explorando alternativas en convenio con los entes académicos de la ciudad, con miras a un mejor uso de sus biosólidos.

Los ensayos mencionados mostraron que estos biosólidos pueden ser utilizados en protección de taludes, proyectos forestales, recuperación de suelos de minería, explotación de canteras y usos agrícolas y pecuarios. Sin embargo, atendiendo las recomendaciones y conclusiones de tales ensayos, se ha decidido avanzar en las investigaciones con rigor estadístico.

Actualmente dicha entidad adelanta también ensayos de compostaje de sus biosólidos en convenio con la Universidad de Antioquia, así como del enriquecimiento y estandarización de la fracción mineral de los mismos, lo cual abrirá nuevos horizontes que guiarán la utilización de estos productos en el país.

Por lo pronto, los biosólidos producidos en la planta de San Fernando siguen siendo sometidos a pruebas de laboratorio constantes y son objeto de monitoreos periódicos con el fin de evaluar los niveles de metales pesados que pudieran restringir su uso.

De igual forma se estudia el componente microbiológico, resultando un material cuyos niveles se reportan inferiores a las normas y estándares internacionales, tanto de la EPA en su norma 503, como los de la Unión Europea, en su legislación (CEE 86/278 y R.D. 1310/90)¹⁵.

Entre tanto, a medida que avanzan los esfuerzos por parte de cada una de las empresas generadoras de biosólidos en el país, el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial aún no sanciona la ley que reglamentará el uso de los biosólidos en Colombia. La Tabla I plantea los niveles críticos que se debaten y son motivo de estudio actualmente.

Tabla I. Concentración máxima de metales para biosólidos en Colombia¹⁶

Parámetro	Concentración límite para biosólidos aplicados al suelo (mg/Kg) base seca	Concentración límite para biosólidos aplicados sólo en agricultura (mg/Kg) base seca
Arsénico	75	41
Cadmio	85	39
Cobre	4.300	1500
Plomo	840	300
Mercurio	57	17
Molibdeno	75	No establecido
Níquel	420	420
Selenio	100	100
Zinc	7.500	2800

La Ley en estudio contempla las siguientes formas de uso al suelo:

- Uso agrícola y pecuario.
- Uso forestal.
- Utilización en suelos degradados.
- Áreas de ornato y recreación.
- Materia prima en elaboración de abonos y enmiendas orgánicas.
- Cobertura final o intermedia de rellenos sanitarios.
- Como inoculante en biorremediación de suelos.
- Elaboración de materiales de construcción.

El parámetro microbiológico de coliformes fecales en este caso es de <2.000.000 NMP/gramo .

Es evidente, sin embargo, que estos parámetros tienen su origen y se orientan en los niveles reglamentados por EPA, en virtud de la ausencia de investigaciones locales que pudieran ayudar a ajustar umbrales críticos de acuerdo con las condiciones tropicales. Daguer¹⁷ sintetiza algunos valores de importancia sobre los biosólidos que se producen en Colombia.

Según este autor, en la actualidad las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Colombia generan 274 toneladas de biosólidos al día (94 toneladas, base seca). El 97% de esta producción es generada por tres plantas: El Salitre (Bogotá), Cañaveralejo (Cali) y San Fernando (Medellín). Las características físicas de los biosólidos de estas plantas pueden ser consultadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Características físicas de los biosólidos PTAR de Colombia¹⁷

Parámetro	El Salitre (Bogota) Datos 2002	San Fernando (Medellín) Datos de 2003	Cañaveralejo (Cali) Datos de 2003	Río Frío (Bucaramanga) Datos de 2003
Humedad (%)	67	68	66	29
Materia seca(%)	33	32	34	71
Producción (Ton/día)	130	80	60	2
Producción (Ton/día)	43	28	20	1,4

Las características agrológicas de los biosólidos producidos en Colombia se aprecian en la Tabla 3 y en la Tabla 4. Se observan las características químicas de los biosólidos de Colombia y su comparación con los producidos por la EEUU y la UE.

Tabla 3. Características agrológicas de los biosólidos de Colombia

Parámetros %	Rango Colombia	Rango*
Nitrógeno total	1,6 – 3,3	3 – 8
Nitrógeno orgánico	0,44 – 1,9	1 – 5
Nitrógeno amoniacal	0,6 – 2,3	1 – 3
Fósforo	0,04 – 3,3	1,5 – 5
Potasio	0,007– 0,4	0,2 – 0,8
Sólidos volátiles	42 – 50	–
pH	6,05 – 7,9	–

*Rangos típicos de biosólidos digeridos anaeróbicamente

Tabla 4. Características químicas de los biosólidos de Colombia y su comparación con biosólidos de EEUU y la UE¹⁷

Contaminante mg/kg	Colombia (1)	EEUU (2)	Unión Europea (2)	NORMA EPA 40CFR- 503 PC-EQ QUALITY	Límites recomendados 86/278/CEE
Arsénico	0,47	4,9	Nd	41	No regulado
Cadmio	2,78	25	4	39	20-40
Cobre	180	616	380	1500	1.000 – 1.750
Cromo	849	178	145	No regulado	No regulado
Mercurio	0,85	2.3	2.7	17	16-25
Níquel	65,4	71	44	420	300-400
Plomo	84	204	97	300	750-1.200
Selenio	0,46	6	Nd	100	No regulado
Zinc	966,3	1285	1.000	2.800	2.500-4.000

1. Promedio ponderado de concentraciones en Colombia de las PTAR El Salitre (Bogotá), San Fernando (Medellín), Cañaveralejo (Cali), Río Frío (Bucaramanga), Américas y Comfenalco (Ibagué).
2. Pollutants in urban waste water and sewage sludge. EU, 2001

Los resultados de las pruebas de lixiviación para biosólidos de la Planta San Fernando se aprecian en la Tabla 5 comparados con los valores de referencia de la regulación EPA 40CFR-261. Todas estas experiencias locales, nacionales e internacionales son de gran importancia a la hora de establecer pautas para una adecuada gestión ambiental.

Tabla 5. Análisis de test de lixiviación para biosólidos de la planta San Fernando¹⁶

Tóxico	Lixiviados biosólido San Fernando (mg/l)	Regulación EPA 40CFR-261 (mg/l)
Arsénico	0,0005	5
Bario	0,04	100
Cadmio	0,0005	1
Cromo	4.2	5
Plomo	0,001	5
Mercurio	0,065	0.2
Molibdeno	75	NE
Níquel	0,25	No regulado
Plata	0,01	5

CONCLUSIÓN

La utilización biosólidos de calidad aceptable a través del sistema suelo puede contribuir de forma importante a la conservación de los recursos naturales, siempre que se

lleve a cabo en forma racional, lo que implica sacar el máximo provecho a los aspectos ventajosos (aporte de materia orgánica y nutrientes al sistema suelo-planta, y reducir al mínimo los que puedan ser desfavorables para la salud pública y el medio ambiente (exceso de nutrientes y contaminantes).

REFERENCIAS

1. ESPAÑA. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE. Series Monografías: 100 preguntas sobre los residuos industriales. Madrid:AGISA S.A.P, 1.996.
2. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. FEDERAL REGISTER. Title 40--Protection of Environment:part 503--Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge. United States : Environmental Protection Agency, 2002.
3. MATTHEWS, Peter and LINDNER, K. European Union. En:_____. A Global Atlas of Wastewater Sludge and Biosolids Use and Disposal. P. Scientific and Technical Report n°4. London : International Association on Water Quality, 1996.
4. GERVIN, S. Lo que usted necesita saber sobre biosólidos [online]. Washington : Washington Suburban Sanitary Comisión, s.f. [Citado en Diciembre de 2005] Disponible en <<http://www.wsscwater.com>>
5. ALLIENDE, E. El peso de los lodos. [online]. Chile : Induambiente, s.f. [Citado en Enero de 2.006]. Disponible en: <<http://www.induambiente.cl/elpeso.htm>>
6. TCHOBANOGLUS, G. ; THEISEN, H. y VIGI, S. Gestión integral de residuos sólidos Vol. 1 y 2. Madrid: McGraw Hill, 1994.
7. ALTOAGUIRRE, L. Riesgos que genera la incineración de residuos. [online]. Argentina : Alihuen, s.f. [Citado en Diciembre de 2005]. Disponible en : <<http://www.alihuen.org.ar/coalicion-ciudadana-anti-incineracion/riesgos-que-genera-la-incineracion-de-res.html>>
8. FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS. Desarrollo de prácticas sustentables de reciclaje de biosólidos en plan estaciones forestales. [online]. Chile : Universidad de Chile, 2003. [Citado en Julio de 2004]. Disponible en <<http://146.83.41.79/profesor/verolagos/d01i1034/>>
9. SMITH, S.R. Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the environment. London : CAB International, 1996.
10. MUÑOZ, F. Biorremediación. [online]. Chile : Universidad de Santiago de Chile, s.f. [Citado en Julio de 2004]. Disponible en : <<http://lauca.usach.cl/ima/bio1.htm>>
11. SEOANEZ, M. y ANGÚLO, I. Aguas residuales urbanas. Madrid: Ediciones mundi-prensa, 1999. 368 p.
12. FELIPO, M. Reutilización de residuos urbanos y posible contaminación. En:_____. Gestión y utilización de residuos urbanos para la agricultura. Madrid: Editorial Aedos, 1995. p. 23-36.

13. SARRUBI, A. El potencial de la fitorremediación para el tratamiento de los hidrocarburos aromáticos polinucleares. [online]. Argentina : ADIS Argentina, s.f. [Citado en Diciembre de 2004]. Disponible en: <<http://www.aidisar.org/ecodirsa8.html>>
14. TRUONG, P. Application of the Vetiver system phytoremediation of mercury pollution in the lake and Yolo counties, northern California. [online]. Tailandia : Vetiver, s.f. [Citado en Octubre de 2005]. Disponible en: <http://www.Vetiver.org/USA_Yolo>
15. COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA. Directiva 86/278/CEE del Consejo de 12 de junio de 1986 relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura. (Diario Oficial n° L 181 de 04, July, 1986) P.0006 – 0012.
16. GARCÍA, G. Manejo y uso de biosólidos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando. En: _____ Letras jurídicas. Medellín. Vol. 9, No. 2 (2004); p. 215-224.
17. DAGUER, G. Gestión de biosólidos en Colombia. [online]. s.p.i. [Citado en Octubre de 2005]. Disponible en: <<http://www.geocities.com/ptarcolombia/biosolidos.htm>>