



Folleto informativo de tecnología de biosólidos Aplicación de biosólidos al terreno

DESCRIPCIÓN

Los biosólidos son principalmente materiales orgánicos producidos durante el tratamiento de aguas residuales, los cuales pueden ser utilizados en diversos usos beneficiosos. Un ejemplo de tales usos es la incorporación de biosólidos al terreno para abastecerlo de nutrientes y para renovar la materia orgánica del terreno. Esta actividad se conoce como aplicación al terreno. Los biosólidos se pueden utilizar en terrenos agrícolas, bosques, campos de pastoreo, o en terrenos alterados que necesitan recuperación.

El reciclaje de los biosólidos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos. Estos mejoran las características del suelo, tales como la textura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. La aplicación de biosólidos también provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre. Los biosólidos pueden servir también como una alternativa o sustituto de los costosos fertilizantes químicos. Los nutrientes contenidos en los biosólidos ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes

inorgánicos debido a que son orgánicos y pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento. Estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en agua y, por lo tanto, tienen una menor probabilidad de lixiviarse al agua subterránea o ser arrastradas a las aguas superficiales.

Existen diversos métodos para la aplicación de biosólidos al terreno. La selección del método depende del tipo de terreno y de la consistencia de los biosólidos. Los biosólidos líquidos contienen esencialmente del 94 al 97 por ciento de agua y cantidades de sólidos relativamente bajas (del 3 al 6 por ciento). Éstos se pueden inyectar al suelo, o pueden ser aplicados a la superficie del terreno.



Fuente: U.S. EPA, 1984

**FIGURA 1 EQUIPO DE INYECCIÓN
DE BIOSÓLIDOS**

Para la inyección de biosólidos al suelo se utilizan vehículos especializados, tal como se muestra en la Figura 1. Estos vehículos especializados tienen mangueras que salen del tanque de almacenamiento hacia las toberas de inyección, desde donde se liberan los biosólidos. Para la aplicación superficial de biosólidos se utilizan vehículos especializados modificados (Figura 2). Los biosólidos aplicados a la superficie del terreno generalmente se incorporan dentro del terreno utilizando equipos agrícolas convencionales.



Fuente: U.S. EPA, 1986

FIGURA 2 APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS LÍQUIDOS

A menudo resulta económico reducir el volumen de los biosólidos previamente a su transporte o almacenamiento. La cantidad de agua contenida en los biosólidos se puede reducir mediante procesos mecánicos, tales como el drenado, la deshidratación por prensa, o la centrifugación, dando como resultado un material compuesto hasta en un 30 por ciento de sólidos secos. Este material tiene la consistencia del suelo húmedo. Los biosólidos deshidratados no requieren de ningún tipo de equipo especializado y se pueden aplicar con la ayuda de los equipos agrícolas convencionales, tales como los

esparcidores de estiércol operados con tractores.

La Figura 3 muestra el rocío de los biosólidos, un método de aplicación utilizado principalmente en zonas de bosques o en zonas que requieren de actividades de recuperación. Los biosólidos líquidos se rocían desde un tanque remolcado por un camión u otro vehículo.



Fuente: U.S. EPA, 1986

FIGURA 3 APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS LÍQUIDOS EN BOSQUES

En la Norma 503 de la Agencia de Protección Ambiental, Estándares para la Aplicación y Disposición de Lodos de Aguas Residuales (*40 CFR Part 503 Rule: Standards for the Use and*

Disposal of Sewage Sludge), se requiere que los sólidos de las aguas residuales sean procesados antes de ser aplicados o incorporados al terreno. Este proceso, denominado “estabilización”, ayuda a minimizar la generación de olores, destruir los agentes patógenos (organismos causantes de diversas enfermedades), y reducir las probabilidades de atracción de vectores. Existen diversos métodos para la estabilización de los sólidos de las aguas residuales, incluyendo:

- El ajuste del pH, o la estabilización alcalina.
- La digestión.
- El compostaje.
- El secado térmico.

La Norma 503 define dos tipos de biosólidos con respecto a la reducción de agentes patógenos, Clase A y Clase B, dependiendo del grado de tratamiento que los sólidos hayan recibido. Los dos tipos son adecuados para la aplicación al terreno, pero se imponen requisitos adicionales en la Clase B. Éstos se detallan en la Norma 503 e 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 periodos de cosecha. Los biosólidos de la Clase A (biosólidos tratados de tal manera que no contengan agentes patógenos a niveles detectables) no están sujetos a estas restricciones. Además de la estabilización, la Norma 503 establece las concentraciones máximas de metales que no pueden sobrepasarse en los biosólidos que van a ser aplicados al terreno. Éstas se denominan Concentraciones Límite *Ceiling Concentrations*). La Norma 503 también establece las Tasas Acumulativas de Carga Contaminante aplicable a ocho metales, las cuales no deben excederse en los lugares de aplicación al terreno. Un tercer juego de criterios para metales también incluido en la Norma 503 es conocido como las Concentraciones de Agentes Contaminantes. Si estas concentraciones no son sobrepasadas en los biosólidos que se aplicarán al terreno, entonces no es necesario hacer el seguimiento de las Tasas Acumulativas de Carga Contaminante. La Tabla 1 muestra los tres juegos de límites del gobierno federal que son aplicables a los biosólidos a ser aplicados al terreno.

TABLA 1 CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE METALES

Metal	Concentración límite (mg/kg)	Tasas acumulativas de carga contaminante (mg/kg)	Concentración del contaminante (mg/kg)
Arsénico	75	41	41
Cadmio	85	39	39
Cobre	4,300	1,500	1,500
Plomo	840	300	300
Mercurio	57	17	17
Molibdeno	75	SL	NL
Níquel	420	420	420
Selenio	100	100	100
Zinc	7,500	2,800	2,800

NL: no tiene límite establecido

Fuente: U S FPA 1993 v 1994

El término *Calidad Excepcional* se utiliza frecuentemente para describir un producto de biosólidos que reúna los requisitos de reducción patógena de la Clase A, los límites más severos con relación a los metales (Concentración de Contaminantes) y los estándares de reducción de atracción de vectores establecidos en la Norma 503. Los vectores (moscas, mosquitos roedores, aves, etc.) pueden transmitir enfermedades directamente a los biosólidos que satisfacen los requisitos de reducción de agentes patógenos de la Clase A, los límites más rigurosos de los metales (Concentraciones de Agentes Contaminantes), y los estándares para la reducción de atracción de los vectores especificados en la Norma 503. Los vectores (moscas, mosquitos/zancudos, roedores, pájaros, etc.) pueden transmitir enfermedades directamente a los seres humanos o desempeñar un papel específico como anfitrión en el ciclo vital de un agente patógeno. La reducción de la atracción del vector se refiere al proceso por el cual los biosólidos se hacen menos atractivos a los vectores de tal modo que reducen las probabilidades de transmisión de enfermedades. Los productos biosólidos de Calidad Excepcional son tan seguros para su manejo como los productos agrícolas y de horticultura, y pueden aplicarse al terreno sin restricciones.

APLICABILIDAD

Las actividades de aplicación al terreno son muy convenientes para el manejo de los sólidos en instalaciones de tratamiento de aguas residuales de cualquier tamaño. Este es el método de preferencia para instalaciones pequeñas al ofrecer ventajas económicas y beneficios al medio ambiente y a las comunidades agrícolas. Sin embargo,

los biosólidos producidos por muchas áreas metropolitanas principales en todo el país son también aplicados al terreno. Por ejemplo, los biosólidos de la instalación de tratamiento de aguas residuales Blue Plains, que presta servicio al District of Columbia y a comunidades circundantes en Virginia y Maryland, se han aplicado al terreno desde que se iniciaron las operaciones de la planta en 1930. Por lo menos una parte de la producción de biosólidos de instalaciones ubicadas en las ciudades de Philadelphia, Chicago, Denver, Nueva York, Seattle y Los Ángeles es aplicada al terreno.

La aplicación al terreno es mucho más fácil de implementar en lugares en donde se dispone de terrenos agrícolas cercanos a la producción de biosólidos; sin embargo, los avances en las actividades de transporte han hecho que la aplicación de biosólidos al terreno sean viables incluso en distancias de transporte mayores a 1,000 millas. Por ejemplo, Philadelphia transporta los biosólidos deshidratados por 250 millas para convertir los terrenos al oeste de Pennsylvania en terrenos utilizables, y New York City envía algunos de sus biosólidos a más de 2,000 millas a Texas y Colorado.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

La aplicación al terreno ofrece diversas ventajas así como algunas desventajas que deben ser consideradas antes de seleccionar esta opción de manejo de biosólidos.

Ventajas

La aplicación al terreno es una forma excelente de reciclar los sólidos contenidos en las aguas residuales siempre y cuando se controle la calidad del material. Estos biosólidos retornan

nutrientes valiosos al terreno y mejoran las condiciones para el crecimiento de la vegetación. La aplicación al terreno es una opción relativamente económica, y la inversión de capital es generalmente menor comparada con otros métodos de manejo de biosólidos. Los contratistas pueden proporcionar el equipo necesario para el transporte y para la aplicación al terreno. Además, las necesidades de espacio en la planta de tratamiento pueden ser relativamente menores dependiendo del método de estabilización seleccionado.

Desventajas

Aún cuando la aplicación al terreno requiere un capital relativamente menor, se puede necesitar un extenso esfuerzo laboral. Incluso si se utilizan contratistas para la aplicación, la supervisión de dichas actividades es esencial para el éxito del programa. La aplicación al terreno está también limitada a ciertas épocas del año, especialmente en los climas más fríos. Los biosólidos no deben ser aplicados en terrenos congelados o cubiertos de nieve, y a veces los campos de cultivo no son accesibles durante la estación de crecimiento. Por lo tanto, es necesario proporcionar una capacidad de almacenamiento junto con programas de aplicación al terreno. Incluso cuando se logra una sincronización adecuada (por ejemplo, antes de plantar las cosechas en usos agrícolas), el estado del tiempo puede interferir con la aplicación. Las lluvias de primavera pueden hacer imposible que el equipo de aplicación llegue a los campos agrícolas, haciendo necesario el almacenaje de los biosólidos hasta que mejoren las condiciones climatológicas.

Otra desventaja de la aplicación al terreno es la posible oposición pública, la cual se desarrolla principalmente cuando el sitio de uso se ubica cerca de las áreas residenciales. Una de las principales causas de la oposición pública es el olor. En el peor de los casos, los municipios o condados pueden pasar ordenanzas que prohíben o restringen la aplicación de los biosólidos. Sin embargo, muchos programas exitosos han ganado el apoyo público a través de una comunicación efectiva, un componente absolutamente esencial en la aplicación benéfica de los biosólidos.

Impactos Ambientales

A pesar de tener diversos efectos positivos en el ambiente, la aplicación al terreno puede tener impactos negativos en el agua, el suelo y el aire si dicha aplicación no se realiza correctamente. Los impactos negativos en el agua resultan por la aplicación de biosólidos utilizando tasas que exceden los requerimientos nutritivos de la vegetación. El exceso de nutrientes en los biosólidos (principalmente los compuestos de nitrógeno) pueden lixiviarse del suelo y llegar al agua subterránea. La escorrentía pluvial puede también transportar un exceso de nutrientes al agua superficial. Sin embargo, debido a que los biosólidos son un fertilizante de liberación lenta, la probabilidad de que los compuestos de nitrógeno sean lixiviados de suelos mejorados con biosólidos, es menor a la del uso de fertilizantes químicos. En las áreas fertilizadas por medio de biosólidos o de productos químicos, la probabilidad de estos impactos es mitigada mediante prácticas de manejo apropiadas, las cuales incluyen la

aplicación de biosólidos utilizando tasas agronómicas (las tasas a las cuales los nutrientes son utilizados por la vegetación). El mantenimiento de zonas de separación entre las áreas de aplicación y los cuerpos de agua superficiales, y las prácticas de conservación del suelo minimizan los impactos en el agua superficial.

Los impactos negativos al suelo pueden resultar del mal manejo de la aplicación de biosólidos al terreno. Las normas federales contienen estándares relacionados con los metales de interés y la aplicación de biosólidos al terreno, y de cumplirse con dichos estándares se evita la acumulación de metales a niveles dañinos. Los requisitos estrictos referentes al mantenimiento de expedientes e informes, tanto a nivel federal como estatal, han sido impuestos para prevenir el mal manejo de los biosólidos.

Los olores producidos por la aplicación de biosólidos representan el principal impacto negativo al aire. La mayoría de los olores asociados con la aplicación al terreno son una molestia más que una amenaza a la salud humana o al ambiente. Las actividades para el control de olores se centran en reducir la generación de olores de los biosólidos, o en incorporar los biosólidos al terreno. Los procesos de estabilización tales como la digestión pueden disminuir la generación de olores. Los biosólidos que han sido desinfectados a través de la adición de cal pueden emitir olores de amoníaco, pero esto generalmente sucede en un área restringida y los olores se disipan de una manera rápida. La estabilización de biosólidos reduce los olores y da lugar a una operación que es

menos desagradable que la aplicación de estiércol.

En general, es preferible el uso de un programa de aplicación de biosólidos al terreno manejado adecuadamente, al uso de fertilizantes convencionales por las siguientes razones:

- Los biosólidos son productos reciclados, cuya aplicación no reduce la cantidad de ningún recurso no renovable tal como el fósforo.
- Los nutrientes contenidos en los biosólidos no son tan solubles como aquellos en los fertilizantes químicos, y por lo tanto se liberan más lentamente.
- Se requiere que los aplicadores de biosólidos mantengan una separación adecuada con los recursos del agua, y en la mayoría de los casos están sujetos a prácticas más rigurosas para la conservación y el control de la erosión del suelo, el manejo de los nutrientes, y los requisitos de mantenimiento de expedientes e informe que en el caso de los agricultores que sólo utilizan fertilizantes químicos o estiércol.
- La aplicación de los biosólidos requiere un monitoreo detallado.
- La materia orgánica en los biosólidos mejora las características del terreno para el crecimiento óptimo de las plantas, incluyendo lo apropiado del cultivo, la friabilidad, la fertilidad y la capacidad de retención de agua. Además, los biosólidos disminuyen la necesidad del uso de pesticidas.

Una declaración conjunta del Departamento de Agricultura de los

Estados Unidos, la Administración Alimentos y Drogas, 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" (U.S. EPA, 1981).

CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios del diseño de los programas de aplicación al terreno cubren los temas relacionados con las tasas de aplicación y lo adecuado del terreno. Los criterios de diseño de las instalaciones físicas (tales como las de estabilización) que forman parte de los programas de aplicación al terreno se discuten en folletos separados. Los biosólidos, las áreas, y las características vegetativas son los factores de diseño más importantes a considerar.

Los biosólidos deben satisfacer los requisitos normativos referentes a la estabilización y el contenido de metales. Además, el contenido de nutrientes y las características físicas, tales como el porcentaje de sólidos, son utilizados para determinar las tasas adecuadas de aplicación para la cosecha que va a ser cultivada y el suelo en el cual será cultivada.

Lo adecuado del terreno es determinado con base en factores tales como características del suelo, la pendiente, la profundidad del agua subterránea, y la proximidad al agua superficial. Además, muchos estados han establecido requisitos para el terreno con el fin proteger aún más la calidad del agua. Algunos ejemplos incluyen:

- El terreno debe ser suficiente para proporcionar áreas sin

aplicación alrededor de los cuerpos de agua superficial, de pozos, y de humedales.

- Una profundidad mínima de un metro de la superficie del terreno al agua subterránea.
- Un pH del suelo en el rango de 5.5 a 7.5 para reducir al mínimo el lixiviado de metales y para favorecer al máximo las condiciones de crecimiento de las cosechas.

Lo adecuado del terreno también está influenciado por las características de las áreas circundantes. Mientras que los olores y el tráfico de los camiones podrían no ser considerados como desagradables en áreas agrícolas, las dos características pueden impactar adversamente los desarrollos residenciales y centros comunitarios cercanos a las áreas en donde se aplican los biosólidos.

El tipo de vegetación que se cultiva es también una consideración de diseño. La vegetación, así como las características del terreno, generalmente no excluyen la aplicación de biosólidos puesto que la mayoría de la vegetación se beneficia de esta práctica. Sin embargo, el tipo de vegetación afecta las opciones del equipo de aplicación, la cantidad de biosólidos que se aplican, y el periodo de aplicación. El efecto de la vegetación en las opciones de equipos de aplicación se detalla en la sección correspondiente a la descripción de esta tecnología, anteriormente presentada. La cantidad de biosólidos que podrían ser aplicados a un terreno es una función de la cantidad de nutrientes requeridos por la vegetación y de la cantidad de metales encontrados en los biosólidos. La Tabla 2 resume la frecuencia de aplicación, los periodos de aplicación, y

las tasas de aplicación para diversos tipos de áreas.

Otro factor que se debe considerar en el diseño de un programa de aplicación al terreno es el periodo de aplicación. Periodos largos durante los cuales los terrenos están saturados o congelados limitan las oportunidades de aplicación. Es una consideración importante en los programas que utilizan terrenos agrícolas; las aplicaciones deben ser realizadas en periodos convenientes para el agricultor, y no deben interferir con la siembra de las cosechas. La mayoría de las aplicaciones de biosólidos en terrenos agrícolas se desarrollan a inicios de la primavera o a finales del otoño. Consecuente-mente, se debe disponer de almacenamiento o una opción alternativa de manejo de biosólidos para manejar los biosólidos cuando no se pueda realizar la aplicación. Los bosques y los terrenos de recuperación permiten una mayor flexibilidad en el periodo de aplicación. En algunas áreas de los Estados Unidos las actividades de aplicación al terreno pueden realizarse durante todo el año.

Escenario típico de la tasa de aplicación de biosólidos

La cantidad mínima recomendada de nitrógeno necesario para una cosecha típica de maíz a ser sembrada en New Jersey es de 120 libras por acre cada año. Biosólidos que contengan 3 por ciento de nitrógeno pueden ser aplicados a un máximo de 5.4 toneladas secas por acre de ser utilizados para abastecer todo el nitrógeno necesario para la cosecha (es decir, sin utilizar ningún otro fertilizante de nitrógeno). Una ciudad que produce 10 toneladas secas de biosólidos por día requeriría una disponibilidad de hasta casi 700 acres de maíz. Si los biosólidos hubieran contenido solamente 1.5 por ciento de nitrógeno, el doble de la cantidad de toneladas se podrían aplicar por acre, requiriéndose solamente la mitad de la cantidad

de acres para la aplicación al terreno de la misma cantidad de biosólidos generados.

La actividad de aplicación es más beneficiosa en terrenos agrícolas a finales del otoño o a principios de la primavera antes de que se siembre la cosecha. El periodo de aplicación es menos crítico en el caso de los bosques en donde los nutrientes pueden ser incorporados al terreno durante la estación de crecimiento. La aplicación al terreno en la época de invierno es menos conveniente en muchas localidades. Los terrenos de pastoreo y las praderas también son más adaptables a las aplicaciones durante diversas estaciones. Las aplicaciones se pueden hacer en la medida que el terreno no esté saturado o cubierto con nieve, y siempre que el ganado pueda pastar en terrenos alternativos por un periodo de 30 días (como mínimo) después de la aplicación. El periodo para las aplicaciones individuales en programas de recuperación de terrenos es menos crítico y puede estar determinado por factores tales como los cronogramas de cumplimiento regulatorio.

TABLA 2 ESCENARIOS TÍPICOS DE APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS

Tipo de área/vegetación	Periodo	Frecuencia de aplicación	Tasa de aplicación
Terreno agrícola			
Maíz	abril, mayo, luego de la cosecha	Anualmente	5 a 10 toneladas secas / acre
Granos pequeños	marzo a junio, agosto y en el otoño	Hasta 3 veces por año	2 a 5 toneladas secas / acre
Semilla de soya	abril a junio y en el otoño	Anualmente	5 a 20 toneladas secas / acre
Heno	Despues de cada poda	Hasta tres veces por año	2 a 5 toneladas secas / acre
Área de bosques	Todo el año	Una vez cada 2 a 5 años	5 a 100 toneladas secas / acre
Terreno de pastoreo	Todo el año	Una vez cada 1 a 2 años	2 a 60 toneladas secas / acre
Áreas de recuperación	Todo el año	Una vez	60 a 100 toneladas secas / acre

Fuente: U.S. EPA, 1984

DESEMPEÑO

En 1995, aproximadamente el 54 por ciento de las plantas de tratamiento de aguas residuales manejaban biosólidos por medio de las actividades de aplicación al terreno, un aumento de casi el 20 por ciento en relación a la información reportada en 1993 (WEF, 1997 and U.S. EPA, 1993). La gran mayoría de estos programas de aplicación al terreno utilizaban terrenos agrícolas, con cantidades menores aplicadas a áreas de bosques, terrenos de pastoreo, o terrenos de recuperación.

El uso de la aplicación al terreno aumentó constantemente en los años de 1980 por diversas razones, incluyendo la disminución en la disponibilidad y el incremento de los costos asociados con la disposición en rellenos sanitarios. La

investigación también ayudó a refinar los procedimientos para la adecuada aplicación al terreno. Mientras tanto, la implementación del Programa de Pretratamiento a Nivel Nacional (*Nationwide Pretreatment Program*) dio lugar a mejoras significativas en la calidad de los biosólidos. La adopción de la Norma 503 en 1993 creó una estructura para la aplicación consistente de los procedimientos a nivel nacional. Las normas fueron desarrolladas con la contribución del Departamento de Agricultura, la Administración de Alimentos y Drogas, agencias productoras de biosólidos, grupos ambientales, el público en general, autoridades regulatorias del estado, e investigadores académicos. Supuestos conservadores fueron utilizados para

crear normas que “protejan la salud pública y el ambiente de todos los efectos adversos razonablemente puedan ser anticipados” (U.S. EPA, 1993).

La aplicación al terreno es una opción confiable para el manejo de biosólidos en la medida que se diseñe el sistema tomando en consideración temas tales como el almacenamiento o el manejo alternativo de biosólidos durante los períodos en los cuales no se pueda realizar la aplicación debido a las condiciones desfavorables del tiempo o del terreno. La oposición pública, más que las limitaciones técnicas, han sido la razón más común por la cual se descontinúan los programas de aplicación al terreno.

“En realidad, en todos los años en que los biosólidos correctamente tratados han sido aplicados al terreno, no hemos podido encontrar ningún caso documentado de enfermedad”.
Martha Prothro, anteriormente la Administradora Asistente Encargada de la Oficina de Agua de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Fuente: Water Environment Web, 1998.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Generalmente, los sistemas de aplicación al terreno utilizan equipos sencillos y confiables. Las operaciones incluyen los procesos para la reducción de agentes patógenos, la deshidratación, la carga de los vehículos de transporte, la transferencia del equipo al área de aplicación, y la aplicación en sí misma. Las consideraciones de las actividades de operación y mantenimiento asociadas con el proceso para la reducción de agentes patógenos se detallan en otros folletos. Las demás operaciones requieren la habilidad laboral de los operadores de equipos pesados, el

personal de mantenimiento del equipo, y los técnicos para la realización de muestreo de campo, todos los cuales normalmente están asociados con las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

Además, la entidad encargada de la instalación que genera biosólidos es responsable de que se cumpla con los requisitos estatales y locales así como las normas federales. El administrador de la instalación que genera los biosólidos debe tener la capacidad de estimar las tasas agronómicas y, además, cumplir con los requisitos de mantenimiento de expedientes y de reportaje. En efecto, la entidad que genera los biosólidos y los responsables de su aplicación al terreno deben firmar las declaraciones de certificación para que haya constancia de la efectividad y el cumplimiento. La entidad generadora de los biosólidos debe también programar reuniones con los agricultores, los dueños de tierras, y los vecinos para comunicar las ventajas del reciclaje de biosólidos. El proceso para el control de olores, junto con un programa de viable de monitoreo, es el elemento más importante para la aceptación pública.

COSTOS

Es difícil estimar el costo de las actividades de aplicación de biosólidos al terreno sin considerar los detalles específicos de cada programa. Por ejemplo, existen algunas economías de escala en la adquisición de grandes equipos. Se puede necesitar una maquinaria del mismo tamaño para un programa que diariamente maneja 10 toneladas secas de biosólidos que para uno que maneja 50 toneladas por día; el costo de esa maquinaria se debe distribuir entre las 10 o 50 toneladas, afectando grandemente el costo

promedio por tonelada seca. Una fuente de información señaló que el costo para la aplicación al terreno variaba entre \$60 a \$290 por tonelada seca (O'Dette, 1996). Este rango en el costo refleja la amplia variedad de métodos para la aplicación al terreno, así como los diversos métodos para preparar los biosólidos que se aplicarán al terreno. Por ejemplo, el costo de los programas que utilizan biosólidos deshidratados incluye este paso adicional, mientras que el costo de los que utilizan biosólidos líquidos no refleja el precio de la deshidratación. Sin embargo, estos programas sí incluyen costos de transporte que generalmente son más altos.

A pesar de la amplia diversidad de costos de los programas de aplicación al terreno, se deben considerar diversos elementos al estimar el costo de cualquier programa de aplicación de biosólidos al terreno:

- Adquisición del equipo o contratación de los servicios para la aplicación de biosólidos al terreno.
- Transporte.
- Mantenimiento y combustible del equipo.
- Instalaciones de carga.
- Mano de obra.
- Costos de inversión, operación y mantenimiento de las instalaciones de estabilización.
- Capacidad de realizar los programas para el manejo y el control de olores.
- Deshidratación (opcional).
- Opción de almacenamiento o manejo alternativo cuando no se pueda realizar la aplicación de biosólidos al terreno debido a las condiciones climatológicas.

- Cumplimiento de las normas, tales como las referentes a los permisos de aplicación, el monitoreo del área y el análisis de biosólidos.
- Programas de educación pública y divulgación.

Se debe, además, conseguir el terreno. Algunos municipios han adquirido granjas para la aplicación de biosólidos al terreno; otros aplican biosólidos en terrenos privados.

Algunos costos de operación pueden ser compensados con la venta de materiales de biosólidos. Dado que los biosólidos reducen la necesidad de fertilizantes y del ajuste del pH, a veces los granjeros pagan por los servicios de aplicación de biosólidos en sus terrenos.

REFERENCIAS

Otros folletos informativos relacionados

Control de olores en el manejo de biosólidos

EPA 832-F-00-067

Septiembre de 2000

Deshidratación por centrifugación y espesamiento

EPA 832-F-053

Septiembre de 2000

Filtro prensa de bandas

EPA 832-F-00-057

Septiembre de 2000

Filtro prensa de placa

EPA 832-F-00-058

Septiembre de 2000

Estabilización alcalina de biosólidos

EPA 832-F-00-052

Septiembre de 2000

Otros folletos informativos pueden obtenerse en la siguiente sitio de Internet:
<http://www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm>.

1. O'Dette, R.G., 1996. Determining the Most Cost Effective Option for Biosolids and Residuals Management. In *Proceedings of the 10th Annual Residuals and Biosolids Management Conference: 10 Years of Progress and a Look Toward the Future*. Alexandria. Water Environment Federation.
2. Sopper, W.E., Seaker, E.M., and Bastian, R.K., Editors, 1982. *Land Reclamation and Biomass Production and Municipal Wastewater and Sludge*. University Park. The Pennsylvania State University Press.
3. U.S. Environmental Protection Agency, 1995. *Amendments to the Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge (40 Code of Federal Regulations Part 503)*. Washington, D.C. U.S. Environmental Protection Agency.
4. U.S. Environmental Protection Agency, 1994. *Biosolids Recycling: Beneficial Technologies for a Better Environment*. EPA 832-R-94-009. Washington, D.C. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water.
5. U.S. Environmental Protection Agency, 1993. *Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge (40 Code of Federal Regulations Part 503)*. Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency.
6. U.S. Environmental Protection Agency, 1991. *National Pretreatment Program: Report to Congress (EPA 21 W-4004)*. Washington, D.C. U.S. Environmental Protection Agency.
7. U.S. Environmental Protection Agency, 1986. *Sewage Sludge Management Primer, Technology Transfer Series*. Cincinnati. U.S. Environmental Protection Agency.
8. U.S. Environmental Protection Agency, 1984. *Environmental Regulations and Technology, Use and Disposal of Municipal Wastewater Sludge (EPA 625/10-84-003)*. Cincinnati. U.S. Environmental Protection Agency.
9. U.S. Environmental Protection Agency, 1983. *Process Design Manual Land Application of Municipal Sludge (EPA 625/1-83-016)*. Cincinnati. U.S. Environmental Protection Agency.
10. U.S. Environmental Protection Agency, 1981. *Interagency Policy on Beneficial Use of Municipal Sewage Sludge*. Washington, D.C. U.S. Environmental Protection Agency.
11. Water Environment Federation, 1997. *National Outlook - State Beneficial Use of Biosolids Activities*. Washington, D.C. Water Environment Federation.
12. Water Environment Web, <http://www.wef.org/doc/bioquotes.html>, September 3, 1998.

13. Water Quality Management Library,
1992. *Municipal Sewage Sludge
Management: Processing,
Utilization and Disposal*, ed. Cecil
Lue-Hing, David R. Zenz, Richard
Kuchenrither. Lancaster. Technomic
Publishing Company, Inc.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Cecil Lue-Hing & Associates, Inc.
Cecil Lue-Hing
6101 N. Sheridan Street, 40B East
Chicago, IL 60660

Denver Metro Wastewater Reclamation
District
Steve Frank
6450 York Street
Denver, CO 80229

District of Columbia Water and Sewer
Authority
Chris Peot
5000 Overlook Avenue, S.W.
Washington, D.C. 20032

Forste Associates
Jane Forste
897 Laurel Way
Arnold, MD 21012

La mención de marcas registradas o
productos comerciales no significa la
aprobación ni recomendación por parte
de la Agencia de Protección Ambiental
de Estados Unidos.

Para más información contáctese con:
Municipal Technology Branch
U.S. EPA
Mail Code 4204
1200 Pennsylvania Avenue, NW
Washington, D.C., 20460