

Utilización de Lodos de Depuradora para la Producción de Cultivos

Charles S. Wortmann y Javed Iqbal, Especialistas de Manejo de Nutrientes de Agronomía y Horticultura
Nutrient Management Specialists, Department of Agronomy and Horticulture

Los biosólidos municipales pueden aportar nutrientes para el crecimiento de los cultivos y mejorar la productividad del suelo. Una hoja de trabajo y las tablas muestran los niveles de contaminantes y cómo calcular una dosis de aplicación para la producción de cultivos.

Los lodos de depuradora tratados, comúnmente conocidos como biosólidos, son sólidos, semisólidos o líquidos producidos durante el tratamiento de aguas residuales municipales. Las aguas residuales son procesadas para producir agua limpia y devolverla a arroyos y cuerpos de agua. Los biosólidos son los subproductos orgánicos de este proceso. Estos biosólidos son ricos en nutrientes pero también pueden contener niveles significativos de elementos nocivos como patógenos, contaminantes y materiales sintéticos vertidos en las alcantarillas de hogares, industrias y negocios. En el pasado, los biosólidos se trataban como productos de desecho que a menudo se incineraban o se arrojaban a los océanos o a los vertederos.

Debido a la naturaleza de los biosólidos, el público pone atención particularmente a la preocupación por el olor, contaminantes y patógenos asociados con la aplicación de biosólidos al suelo. Las regulaciones federales se aprobaron en 1993 como regla de biosólidos de la Agencia de Protección Ambiental (Regulación EPA 503) para regular la aplicación de biosólidos al suelo con el fin de proteger la salud humana, animal y vegetal, y el medio ambiente.

Preocupaciones Ambientales y de Salud

Los municipios tienen varias opciones para cumplir con los estándares de solicitud de tierras según la Regla 503 de la EPA (Tabla 1). Estos estándares dependen de los niveles de patógenos, las concentraciones de contaminantes y el tipo de tratamiento para reducir la atracción de vectores o portadores de patógenos (ej. moscas y roedores). Para poder ser aplicado en tierra, todos los biosólidos deben ser tratados para reducir los niveles de patógenos y todos los biosólidos

Tabla 1. Resumen de opciones disponibles para cumplir con las regulaciones para la utilización de biosólidos en el suelo¹.

Opción de Biosólidos	Clase de patógeno ²	Límite de concentración	Cumple con las opciones contaminantes VAR ³	Tipo de tierra	Restricción de Sitio	Seguimiento necesario
Calidad excepcional	A	Sí	1-8	Cualquiera	No	No
Calidad contaminante	A	Sí	9-10	No en césped ni en jardines caseros	No	No
Concentración	B	Sí	1-10	No en césped ni en jardines caseros	Yes	No
CPLR ⁴	A	Sí	1-10	No en césped ni en jardines caseros	No	Yes
	B	Sí	1-10	No en césped ni en jardines caseros	Yes	Yes
APLR ⁴	A	Sí	1-8	Cualquiera	No	Yes

¹Los biosólidos aplicados al suelo deben cumplir con los límites máximos de concentración de contaminantes (Tabla 2)

²Los biosólidos de Clase A tienen niveles de patógenos por debajo de los límites detectables y no tienen restricciones de uso o aplicación en el sitio. Los biosólidos de clase B contienen un nivel bajo de patógenos, tienen algunas restricciones y solo pueden manipularse a granel. Los biosólidos producidos en Nebraska son generalmente de Clase B.

³ VAR = Reducción de atracción de vectores. Opciones 1-8 son tratamientos que se realizan en la instalación de tratamiento de aguas residuales, como reducir la cantidad de sólidos volátiles, elevar el pH en condiciones específicas, compostaje, etc. La opción 9 es la inyección de biosólidos líquidos en el suelo durante la aplicación. La opción 10 es la incorporación de biosólidos al suelo.

⁴ CPLR y APLR son las opciones de tasa de carga acumulativa de contaminantes y tasa de carga anual de contaminantes para la aplicación de biosólidos al suelo.

Table 2. Límites permisibles para las concentraciones contaminantes de biosólidos para aplicación en tierra.

Contaminante	Límite máximo de concentración para aplicaciones terrestres	Límite de concentración de contaminantes para biosólidos EQ y PC	Límite de tasa de carga acumulativa de contaminantes	Tasa de carga anual de contaminantes
	ppm en base de peso seco		lb/A	
Arsénico	75	41	37	1.8
Cadmio	85	39	35	1.7
Cobre	4,300	1,500	1,340	67.0
Plomo	840	300	270	13.0
Mercurio	57	17	15	0.7
Molibdeno	75	—	—	—
Níquel	420	420	375	19.0
Selenio	100	36	89	4.5
Zinc	7,500	2,800	2,500	125.0

Fuente: Guía sencilla en inglés de la regla 503 de la EPA.

deben cumplir al menos con el límite máximo de concentración para cada uno de los contaminantes enumerados en la Tabla 2.

Los biosólidos de Clase A tienen niveles de patógenos debajo de los límites detectables y no tienen restricciones de uso o aplicación en el sitio (Tabla 1). Los biosólidos de clase A se pueden embolsar y vender, y pueden utilizarse en césped y jardines domésticos. Si uno o más de los contaminantes enumerados en la regla 503 de la EPA está por encima del límite de concentración de contaminantes (Tabla 2), los biosólidos de Clase A aún se pueden embolsar, pero la tasa de aplicación está restringida para que la cantidad de contaminante aplicado en un año no supere la Tasa Anual de Carga Contaminante (APLR). Las bolsas que contienen biosólidos APLR deben etiquetarse con el APLR de los contaminantes de interés.

Los biosólidos de Clase B contienen un bajo nivel de patógenos y tienen algunas restricciones (Tabla 1). Estos solo pueden ser manejados a granel. Los cultivos cuyas partes comestibles no tocan el suelo pueden ser cosechados 30 días después de la aplicación, pero la cosecha de partes comestibles

que toquen el suelo o estén debajo del suelo están restringidos de 14 a 20 meses, respectivamente. Los biosólidos de Clase B tienen una restricción de pastoreo de 30 días y una restricción de un año en el acceso público a tierras de contacto públicas. Se requiere informar y rastrear la aplicación de biosólidos al suelo si uno o más de los nueve contaminantes está por encima del límite de concentración de contaminantes (Tabla 2). La cantidad total de contaminante aplicado a un terreno a lo largo del tiempo no puede exceder la Tasa de Carga Acumulada de Contaminantes (CPLR).

Los biosólidos producidos en Nebraska son generalmente Clase B. Los rangos de valores de contaminantes para varias plantas de tratamiento de aguas residuales en Nebraska se dan en la Tabla 3. En algunos casos, uno o más contaminantes pueden exceder el límite de concentración de contaminantes y es necesario realizar un seguimiento.

Consideraciones Agronómicas

Beneficios Agronómicos. Cuando se aplican a los suelos, los biosólidos pueden suministrar nutrientes y mejorar la condición del suelo. Los biosólidos contienen el complemento completo de nutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos y son una buena fuente de nitrógeno y fósforo, los nutrientes que se aplican con mayor frecuencia en Nebraska. Los biosólidos se descomponen durante varios años, liberando gradualmente nitrógeno, azufre y micronutrientes.

Además de suministrar nutrientes, los biosólidos pueden mejorar la materia orgánica del suelo, la actividad microbiana y las propiedades físicas del suelo. Los efectos de los biosólidos sobre las propiedades físicas del suelo, como el aumento de la formación de agregados en el suelo y su estabilidad, pueden ser mayores que los del estiércol animal debido a la estabilidad de los compuestos orgánicos en los biosólidos. Una mejor infiltración de agua puede ser especialmente valiosa en áreas de tierras altas donde la capa superior del suelo es poco profunda y baja en materia orgánica debido a la eliminación del suelo por erosión, nivelación o formación de terrazas.

Tabla 3. El rango de nivel de contaminantes, en base al peso seco, de biosólidos de varias plantas de tratamiento de aguas residuales en Nebraska¹.

	Concentración de Contaminantes (partes por millón, ppm)	
	Bajo	Alto
Arsénico	6	16
Cadmio	2	18
Cobre	245	1,660
Plomo	64	98
Mercurio	0.005	2
Molibdeno	7	62
Níquel	19	98
Selenio	6	32
Zinc	46	2,176

¹Las plantas de tratamiento de aguas residuales fueron: la planta de Theresa Street y la del noreste en Lincoln; las plantas de Papillion Creek y Missouri River Valley en Omaha; y las plantas de tratamiento en Seward y Scottsbluff.

Tabla 4. Niveles típicos de nutrientes para biosólidos de varias plantas de tratamiento de aguas residuales en Nebraska “tal cual”.

	Theresa Street, Lincoln	Papillion Creek, Omaha	Missouri River Valley, Omaha	Scottsbluff	Lincoln Northeast	Seward
	lb/ton				lb/1000 gal	
Materia seca	372	494	490	1766	248	224
Nitrógeno total	17	20	20	88	12	11
Nitrógeno orgánico	14	16	16	65	9	6
Amonio-nitrógeno	3	3	3	23	3	5
Fosfato potasio	10	9	8	37	1	4
Hierro	1	1	1	9	1	1
	10	13	12			

Nitrógeno. La regla 503 de la EPA establece que los biosólidos no se pueden aplicar a una tasa superior a la “agronómica”, la tasa que suministra suficiente nitrógeno para lograr una meta de rendimiento realista. La mayor parte del nitrógeno en los biosólidos se encuentra en formas orgánicas (50 a 85 por ciento) y el resto es principalmente N-amonio (Tabla 4). El N-amonio está inmediatamente disponible para el cultivo, pero gran parte puede convertirse en amoniaco y perderse por volatilización si no se incorpora al suelo (Tabla 5). El nitrógeno orgánico se libera lentamente, típicamente con un 40 por ciento disponible para el primer cultivo después de la aplicación y un 75 por ciento del nitrógeno orgánico liberado durante cuatro años (Tabla 6). El proceso de tratamiento de aguas residuales influye en la tasa de liberación de nitrógeno orgánico, con una liberación más lenta de biosólidos más estables. Cuando los biosólidos se aplican a dosis agronómicas, el nitrógeno se utiliza con la misma eficacia que con los fertilizantes.

Como ejemplo, para el cálculo de la tasa de aplicación de biosólidos, supongamos que se necesitan 150 libras por acre de nitrógeno agregado para lograr una meta de rendimiento realista después de dar crédito por el nitrato-nitrógeno del suelo, los efectos de la materia orgánica y otras fuentes de nitrógeno. Si los biosólidos se incorporan inmediatamente, los biosólidos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Theresa Street en Lincoln deberían aplicarse a una tasa de 17,4 toneladas por acre (Tabla 7). Al realizar dichos cálculos, utilice resultados analíticos recientes de la planta de tratamiento de aguas residuales para amonio y nitrógeno orgánico, en lugar de los valores de la Tabla 4.

Tabla 5. Amonio-nitrógeno disponible para uso en cultivos con aplicación previa a la siembra según se vea afectado por el tiempo hasta la incorporación de los biosólidos aplicados al suelo.

Tiempo hasta la incorporación o lluvia/riego >0,4 pulgadas	Sólido	Lodos	
		<50 °F	≥50 °F
Inmediatamente	95%	95%	95%
1 día después	50%	75%	75%
2 día después	25%	55%	45%
3 día después	15%	45%	25%
>7 día después	0	40%	0%

Una menor cantidad de nitrógeno amoniacal estará disponible cuando los biosólidos se apliquen en condiciones calurosas, húmedas y ventosas en comparación con condiciones frías y secas.

Cuando se cultivan cultivos no leguminosos en el segundo año y en los siguientes, es posible que sea necesario aplicar nitrógeno para complementar el nitrógeno procedente de los biosólidos en descomposición. Se debe dar crédito a la liberación de nitrógeno orgánico en los años siguientes, aunque las tasas reales de liberación pueden variar ampliamente de las tasas estimadas (Tabla 6). El nitrato del suelo: el nitrógeno en los 2 a 4 pies superiores del suelo y otros créditos de nitrógeno también deben considerarse para determinar las necesidades de nitrógeno del cultivo posterior.

Fósforo. La mayor parte del fósforo presente en los biosólidos queda disponible para los cultivos durante el año de aplicación. Si los biosólidos se aplican regularmente para satisfacer las necesidades de nitrógeno de los cultivos, el suministro de fósforo superará la demanda de los cultivos. Se necesita una planificación cuidadosa con la aplicación repetida de biosólidos para evitar la acumulación excesiva de fósforo en el suelo, lo que resulta en un mayor potencial de pérdida de fósforo por escorrentía y erosión, y contaminación de las aguas superficiales. La aplicación de 17,5 toneladas por acre, como en el ejemplo de la Tabla 7, aplicaría 175 libras de fosfato por acre, mientras que se pueden eliminar 45 libras en 150 bushels de maíz. Los suelos deben analizarse después de tres o cuatro años para garantizar una disponibilidad adecuada de fósforo y evitar niveles excesivos de fósforo en el suelo.

Potasio. Los biosólidos no aportan mucho potasio. El potasio es soluble y la mayor parte se elimina en las aguas residuales tratadas. La mayoría de los suelos de Nebraska suministran suficiente potasio para un crecimiento óptimo de los cultivos, pero puede ser necesario agregar fertilizante con potasio cuando el suministro del suelo es bajo.

Aplicación específica del sitio. La capacidad de respuesta del cultivo a biosólidos aplicados y el potencial de contaminación de

Tabla 6. Porcentaje estimado de nitrógeno orgánico aplicado en biosólidos que está disponible para el cultivo.

Años después de la aplicación	Porcentaje Disponible
0-1	40
1-2	20
2-3	10
3-4	5

las aguas superficiales y subterráneas varían según las condiciones de la tierra y el suelo. Los productores deberán sopesar los costos del uso de biosólidos con los beneficios previstos para cada campo, e incluso para zonas dentro de los campos. Se puede esperar una mayor respuesta del cultivo a los biosólidos aplicados si: 1) el fósforo en las pruebas del suelo es bajo; 2) uno o más micronutrientes son deficientes; y/o 3) la infiltración de agua es lenta y la escorrentía es alta debido al bajo contenido de materia orgánica y/o alto contenido de arcilla en la superficie del suelo. El potencial de contaminación ambiental es menor si: 1) el fósforo en las pruebas del suelo es bajo; 2) hay poca o ninguna posibilidad de inundaciones; 3) la profundidad de un acuífero de agua potable es de más de 6,5 pies y el suelo tiene una textura fina; 4) se aplican mejores prácticas de manejo para el control de la erosión y la escorrentía cuando la pendiente es superior al 6%, y no se aplican biosólidos cuando la pendiente es superior al 12%; 5) la capacidad de retención de agua es superior a 1 pulgada por pie

de profundidad del suelo; 6) los biosólidos no se aplican a los humedales y/o 7) el sitio de aplicación está a más de 100 pies de cuerpos de agua abiertos o canales de flujo de agua. El efluente tratado de una instalación de tratamiento de aguas residuales domésticas no debe aplicarse dentro de 500 pies de un pozo público de agua potable, 100 pies de un pozo privado de agua potable y 100 pies de un edificio habitado.

Información Adicional

Manual de Diseño de Procesos: Aplicación Terrestre de Lodos de Depuradora y Sépticos Doméstico. 1995. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. <http://www.epa.gov/ORD/WebPubs/landapp.pdf> Volatilización, absorción vegetal y mineralización de nitrógeno en suelos tratados con lodos de depuradora. Informe técnico 133. L. E. Sommers, C. F. Parkers y G. J. Meyers. 1981. Centro de Investigación de Recursos Hídricos, Universidad Purdue, West Lafayette, IN.

Tabla 7. Cálculo de la tasa de aplicación de biosólidos, “tal cual”, para suministrar el nitrógeno agregado necesario para lograr una meta de rendimiento realista (Pasos 1 a 4), y cálculo del nitrógeno suministrado a partir de los biosólidos en el segundo año. (Paso 5). (Para el ejemplo se utilizaron los valores de nitrógeno para biosólidos del Plan de Tratamiento de Aguas Residuales de Theresa Street en Lincoln).

Paso 1.		
Amonio-nitrógeno en biosólidos (lb por ton o 1.000 gal) (Tabla 4)	Amonio-nitrógeno restante tras la incorporación (Tabla 5)	Amonio-nitrógeno disponible para el cultivo
3.0 lb/t	X 95%	= 2.85 lb/t
	X	=
Paso 2.		
Nitrógeno orgánico en biosólidos (lb por tonelada o 1000 gal) (Tabla 4)	Tasa de mineralización del nitrógeno orgánico (Tabla 6)	Nitrógeno orgánico disponible para el cultivo.
14.1 lb/t	X 40%	= 5.64 lb/t
	X	=
Paso 3.		
Amonio-nitrógeno disponible para el cultivo (del Paso 1)	Amonio-nitrógeno disponible para el cultivo (del Paso 1)	Nitrógeno total disponible para el cultivo
2.85 lb/t	+ 5.64 lb/t	= 8.49 lb/t
	+	=
Paso 4.		
Necesidad del cultivo de nitrógeno añadido	Nitrógeno suministrado por tonelada	Tasa de aplicación de biosólidos
150 lb/A	÷ 8.49 lb/t	= 17.7 t/A
	÷	=
Cálculo del nitrógeno aportado por los biosólidos en el segundo año.		
Paso 5.		
50% del nitrógeno orgánico disponible en el primer año	Tasa de aplicación biosólidos	Nitrógeno orgánico disponible para el cultivo en el año 22
5.64 lb/t / 2 (del Paso 2)	X 17.7 t/A (del Paso 4)	= 49.9 lb/A
	X	=

Esta publicación ha sido revisada por especialistas. Las publicaciones de Extensión de Nebraska están disponibles en línea en <http://extension.unl.edu/publications>.

Extensión es una División del Instituto de Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad de Nebraska- Lincoln que coopera con los Condados y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Los programas educativos de la Extensión de Nebraska cumplen con las políticas de no discriminación de la Universidad de Nebraska-Lincoln y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

© 2022, La Junta de Regentes de la Universidad de Nebraska en nombre de la Extensión de la Universidad de Nebraska-Lincoln. Todos los derechos reservados.