



CAPÍTULO 2

NORMATIVIDAD



DOI: <https://doi.org/10.24267/9789585120136.2>



JORGE ANTONIO SILVA LEAL

Doctor en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad del Valle. Docente Facultad de Ingeniería, Universidad Santiago de Cali. Grupo de Investigación en Ingeniería Electrónica Industrial y Ambiental (GIEIAM). E-mail: jorge.silva04@usc.edu.co.

SIMONE BITTENCOURT

Ingeniera Agrónoma. Maestría en Agronomía y Doctora en Ingeniería de Recursos Hídricos y Ambientales de la Universidad Federal de Paraná. Profesora de la Facultad Fael. Profesional de la Compañía de Saneamiento del Paraná (Sanepar) en los temas de gestión de residuos de sistemas de residuos líquidos. Email: sbittencourt@sanepar.com.br



2.1 NORMATIVIDAD SOBRE LODOS Y BIOSÓLIDOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Jorge Antonio Silva Leal

Las características de los biosólidos varían mucho dependiendo de: su origen (biológico o químico), edad, nivel de tratamiento del cual provienen (primario, secundario o una mezcla de ambos) y su fuente original (Lescher & Spinosa, 1998); es por esto que, si se pretende obtener beneficios de ellos, se hace necesario conocer las características físicas, químicas y microbiológicas de este subproducto, a fin de estar en condiciones de establecer su potencialidad de aprovechamiento o sus restricciones para ser usados. Teniendo en cuenta lo anterior, en algunos países, la normatividad concerniente a este tipo de subproducto llega a ser muy exigente en términos de la calidad con que se debe entregar al usuario, ya que se han encontrado consecuencias graves y algunos efectos negativos al no prevenir las reacciones o interacciones ocasionadas por la utilización de este tipo de residuo.

Normatividad internacional

En febrero de 1993, el Congreso de los Estados Unidos de América (EUA), bajo asesoría de la *Environmental Protection Agency* (USEPA), expidió la norma para el manejo y disposición de lodos y biosólidos generados en el tratamiento de las aguas residuales, la cual fue publicada en el Código del Registro Federal, título 40, parte 503 (USEPA, 1993). La publicación de la Norma 40CFR, parte 503, estableció un precedente importante en cuanto al manejo de lodos y biosólidos, fijando límites tanto de metales pesados en su contenido como en la calidad microbiológica y la atracción de vectores; además, recomendó tratamientos para su estabilización, de tal forma que se lograra cumplir con dichas exigencias.

Posteriormente, en países como México, Brasil, Chile y Argentina también se logró normar el uso y disposición de biosólidos a partir de los lineamientos definidos en la norma emitida por la USEPA. En la Tabla 2.1 se muestra la clasificación microbiológica y parasitológica de los lodos o biosólidos para cada norma en algunos de estos países.

Tabla 2.1 Parámetros microbiológicos y parasitológicos para la caracterización de biosólidos

Parámetro	Unidad	USA ⁽¹⁾	México ⁽²⁾	Brasil ⁽³⁾
Coliformes Fecales	NMP/g	Clase A: <1X10 ⁵ Clase B: <2X10 ⁶	Clase A: <1X10 ⁵ Clase B: < 1x10 ⁵ Clase C: < 2X10 ⁶	Clase A: <1X10 ⁵ Clase B: <1X10 ⁶
Salmonella sp	NMP/4g	Clase A: < 3	Clase A: < 3 Clase B: <3 Clase C: < 300	Ausencia en 10gr
Huevos de helminthos	HH/4g	Clase A: < 1	Clase A: < 1 Clase B: <10 Clase C: < 35	Clase A: < 1 Clase B: < 10
Virus	UFP/4g	Clase A: < 1	-	Clase A: <1

Norma 40CFR parte 503 (USEPA, 2003); ⁽²⁾ NOM-004–2002 (SERMANAT, 2003); ⁽³⁾ Resolución N° 375 (CONAMA, 2006).

En la mayoría de estas normas, los biosólidos se clasifican en clases A y B, con excepción de la norma mexicana que introduce una tercera categoría (clase C). La clase A corresponde a biosólidos que pueden ser utilizados sin restricción en agricultura, incluyendo todos los usos urbanos en los que se ocasione el contacto directo con la población; los de clase B pueden ser aplicados con restricciones observándose contacto indirecto, (e.g., revegetación, cultivo de alimentos que se procesen antes de ser consumidos o cobertura en rellenos sanitarios), y los de clase C, que aparecen solo en la norma mexicana, pueden ser empleados en usos forestales o en el mejoramiento de suelos. En las normas mostradas resalta que, mientras todas establecen límites para coliformes fecales (*i.e.*, *salmonella sp* y huevos de helmintos), los virus solo son reglamentados en la norma americana y en la brasileña. En la Tabla 2.2 se muestran los valores del contenido máximo de metales pesados establecidos por las normas de diferentes países.

Tabla 2.2 Contenido máximo de metales pesados (en mg/kg) establecidos por diferentes países.

METAL	USA ⁽¹⁾	MÉXICO ⁽²⁾	BRASIL ⁽³⁾
As	75	41	41
Ba	-		1300
Cd	85	39	39
Cu	4300	1500	1500
Cr	3000	1200	1000
Hg	57	17	17
Mb	-	-	50
Ni	420	420	420
Pb	840	300	300
Se	100	-	100
Zn	7500	2800	2800

(1) Norma 40CFR parte 503 (USEPA, 2003)(2) NOM-004–2002 (SERMANAT, 2003); (3)Resolución N° 375 (CONAMA, 2006).

Asimismo, en la Tabla 2.2 se observa que los valores de metales pesados establecidos en la norma de la USEPA (2003) son mayores que en los otros dos países. Adicionalmente, la USEPA fija los tratamientos a los cuales deben ser sometidos los lodos o biosólidos, a fin de disminuir el contenido de patógenos en ellos y así poder ser clasificados como clase A, tal y como se muestra en las Tablas 2.3 y 2.4, donde aparecen los procesos a los cuales deben ser sometidos estos residuos, para garantizar la disminución de los patógenos en ellos y garantizar un biosólido de clase B.

Tabla 2.3 Tratamientos para catalogar un biosólido como de clase A, y disminuir la cantidad de patógenos en un biosólido clase B.

Tratamientos	Descripción
Temperatura	<p>Cuando el porcentaje de sólidos en los lodos es $\geq 7\%$, la temperatura a la que se deben someter los lodos deben ser $\geq 50\text{ }^\circ\text{C}$, en un periodo ≥ 20 minutos; Sin embargo, para cumplir con estas condiciones, la norma recomienda la utilización de la ecuación 1, para determinar, con base en cualquiera de las dos condiciones, el tiempo o la temperatura adecuada Ec.1:</p> $t = \frac{131,700,000}{10^{0.14*T}} \quad \text{Ec. (1)}$
Temperatura	<p>Cuando el porcentaje de sólidos en los lodos es $< 7\%$, el periodo para someter el lodo a una temperatura $\geq 50\text{ }^\circ\text{C}$ debe estar entre 15 s y \leq a 30 min, las condiciones de tiempo o temperatura deben ser determinadas usando la Ec.2:</p> $t = \frac{50'070.000}{10^{0.14*T}} \quad \text{Ec. (2)}$ <p>Donde: t: tiempo en días T: temperatura en $^\circ\text{C}$</p>
Temperatura	<p>Cuando el porcentaje de sólidos es $\geq 7\%$, y las partículas pequeñas de los lodos son calentadas por gases o líquidos inmiscibles, la temperatura a que se deben someter los lodos debe ser $\geq 50\text{ }^\circ\text{C}$, durante un periodo mínimo de 15 segundos. Las condiciones de tiempo y temperatura se determinan usando la ecuación 1.</p>
Alcalino	<p>Tratamiento alcalino y de temperatura: $\text{pH} > 12$, al menos por 72 horas, y Temperatura $> 52\text{ }^\circ\text{C}$, al menos por 12 horas.</p>
Compostaje	<p>Método de pila estática aireada durante un tiempo > 30 días; pila con volteo mecánico (windrow) con temperatura $> 55\text{ }^\circ\text{C}$, durante un tiempo > 15 días, mínimo 5 volteos en el periodo estipulado.</p>
Secado térmico	<p>Los lodos son secados por contacto directo o indirecto con gases calientes para reducir su contenido de humedad hasta en un 10% o. Se debe verificar que la temperatura de las partículas del lodo excedan los $80\text{ }^\circ\text{C}$ o que la temperatura del bulbo húmedo del gas en contacto con el lodo, una vez salga del secado, exceda los $80\text{ }^\circ\text{C}$.</p>

Fuente: adaptado de USEPA (1993).

Tabla 2.4 Métodos de tratamiento recomendados para obtener biosólidos de clase B.

Tratamientos	Descripción
Digestión aerobia	Los lodos son agitados con aire u oxígeno para mantener las condiciones aerobias por un tiempo de residencia celular medio, entre 40 - 60 días, a una temperatura entre 15 - 20 °C.
Digestión anaerobia	Los lodos son tratados en ausencia de oxígeno por un tiempo de residencia celular específico a una temperatura específica. Los valores del tiempo de residencia celular medio deben estar entre 15 - 35 días a una temperatura de 55 °C.
Compostaje	Se pueden usar los siguientes métodos: pila estática, con aireamiento o hileras, donde la temperatura debe ser ≥ 40 °C y permanecer durante un periodo de 5 días.
Tratamientos	Descripción
Estabilización con cal	Se debe adicionar suficiente cal a los lodos para elevar el pH a 12 durante 2 horas de contacto.
Secado con aire	Los lodos son secados sobre camas de arena, suelos pavimentados o sin pavimentar. Estos se secan por un periodo mínimo de 3 meses. Durante 2 de los 3 meses, la temperatura ambiente promedio diaria debe estar por encima de 0 °C.

Fuente: adaptado de USEPA (1993).

Normatividad colombiana

En Colombia, el Decreto 1287 publicado en 2014, a través del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, estableció que los biosólidos que pudieran ser aprovechados en la agricultura deberán cumplir los criterios mostrados en la Tabla 2.5. Este decreto debe ser aplicado por todas las instituciones prestadoras del servicio público domiciliario de alcantarillado, en el componente de tratamiento de aguas residuales municipales como productores de biosólidos. Así como por los distribuidores y los usuarios de los mismos en el territorio nacional, y no aplica para lodos que tengan características de peligrosidad.

Tabla 2.5 Valores máximos de contaminantes contenidos en biosólidos para que se permita su uso en la agricultura.

Variable	Unidad	Categoría de biosólido	
		A	B
Arsénico	mg/kg	20	40
Cadmio	mg/kg	8	40
Cobre	mg/kg	1.000	1.750
Cromo	mg/kg	1.000	1.500
Mercurio	mg/kg	10	20
Molibdeno	mg/kg	18	75
Níquel	mg/kg	80	420
Plomo	mg/kg	300	400
Selenio	mg/kg	36	100
Zinc	mg/kg	2.000	2.800
Microbiológicas y parasitológicas			
Coliformes Fecales	UFC/g	$< 1,0 \cdot 10^3$	$< 2,0 \cdot 10^6$
Huevos de helmintos	HH/4 g	< 1	< 10
Salmonella sp.	UFC/25 g	Ausencia	$< 1,0 \cdot 10^3$
Virus entéricos	UFP/4 g	$< 1,0$	-

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2014). Decreto 1287. Criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales. Diario Oficial.

Además, la norma colombiana recoge en su mayoría los criterios establecidos en la norma americana sobre biosólidos en cuanto a su calidad microbiológica; sin embargo, en los temas de contenido de metales pesados, la norma colombiana es un poco más estricta. Los biosólidos categoría A y B pueden ser empleados en diferentes usos como se muestra en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Usos para los biosólidos categoría A y B en Colombia.

Categoría A	Categoría B
Aplicación en zonas verdes.	En agricultura, se aplica directamente en el suelo.
Como producto para uso en áreas privadas (plantas ornamentales y arborización).	En el mejoramiento o recuperación de suelos degradados.
En agricultura.	En plantaciones forestales.
Los mismos usos de la categoría B.	Como insumo en procesos de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores para suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos que modifiquen su calidad original.
Categoría A	Categoría B
	Remediación de suelos, lechos biológicos
	Como soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, absorción y adsorción.
Categoría A	Categoría B
	Como insumo en la fabricación de materiales para la construcción.
	Coadyuvante en la operación de rellenos sanitarios.
	En procesos de valorización energética.
	Revegetalización y paisajismo de escombreras.

Fuente: Decreto 1287 (2014). Criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales. Minvivienda, Bogotá, Colombia.

Los residuos o biosólidos que no cumplan con los valores establecidos para las categorías A y B podrán usarse en:

- Operación de rellenos sanitarios.

- Disposición conjunta con Residuos Sólidos Municipales (RSM) en rellenos sanitarios y de manera independiente en sitios autorizados.

- En procesos de valoración energética.

- Así mismo, se establecen las siguientes restricciones para el uso del suelo en el cual se apliquen biosólidos categoría B:

- No se podrán aplicar biosólidos durante un período de un (1) año antes de la cosecha y durante la cosecha misma de cultivos hortícolas o frutícolas que estén en contacto directo con el suelo y que se consuman en estado crudo.

- En cultivos de raíz, solo se permitirá cosechar después de veinte (20) meses, si los biosólidos permanecieron sobre el suelo por cuatro (4) meses o más, antes de su incorporación al terreno.

- En cultivos de raíz, solo se permitirá cosechar después de tres (3) años, si los biosólidos permanecieron sobre el suelo menos de cuatro (4) meses, antes de su incorporación al terreno.

- Forraje para ganado y cultivos agroindustriales no destinados a consumo humano directo, se deberá considerar que la última aplicación de biosólidos al suelo se haga por lo menos tres (3) meses antes de la cosecha.

- Solo se podrán poner a pastar animales domésticos después de tres (3) meses de la última aplicación de biosólidos al terreno.

- En suelos de uso forestal, restringiendo el acceso al área durante el mes siguiente a la última aplicación.

Y se define que en ningún caso los biosólidos podrán ser aplicados en:

- Playas, páramos y cuerpos de agua.

- En suelos saturados como vegas.

- En suelos cuyo nivel freático máximo se encuentre a menos de un (1) metro de profundidad con respecto a la superficie del terreno, y en aquellos suelos en los que se genere un efecto de nivel freático colgante.

- En zonas aledañas a fuentes de captación subterráneas de agua para consumo humano o animal, en un radio inferior a los cien (100) metros.
- En zonas aledañas a fuentes superficiales de captación de agua para consumo humano o animal, en una franja mínima de treinta (30) metros, medidos en forma paralela a las líneas de mareas máximas. En el caso de los nacimientos de fuentes de agua, en una extensión de por lo menos cien (100) metros a la redonda, medidos a partir de su periferia.
- Suelos con alto riesgo de inundación.
- Clase B, a menos de trescientos (300) metros de distancia de áreas residenciales urbanas, hospitales, locales de expendio de alimentos, escuelas, y parques.
- En suelo rural, a menos de 100 metros de viviendas aisladas.
- En terrenos agrícolas, en tasas mayores a la tasa agronómica, considerando la clase de cultivos en que serán empleados.
- En suelos donde se encuentren especies de fauna y flora amenazados para la aplicación de biosólidos de categoría B.

Aunque la normatividad colombiana retoma muchos valores de la norma americana publicada en 1993, y establece las tasas máximas a aplicar de biosólidos con base en el contenido de metales pesados, se observa que no contempla los criterios de aplicación de biosólidos considerando los contenidos de nutrientes del suelo y de los subproductos a aplicar. Estas dosis de aplicación si se establecen por la USEPA (2000), las cuales se determinan mediante las ecuaciones 3 y 4.

$$\text{Dosis Biosólido} = \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{\text{Nitrógeno recomendado para el cultivo} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right)}{\text{Nitrógeno disponible en el biosólido} \left(\frac{\text{kg}}{\text{t}} \right)} \quad \text{Ec. (3)}$$

El nitrógeno disponible en el biosólido se calcula con base en la Ec. (4) (United States Environmental Protection Agency, 2000).

$$ND = \frac{K_{\min}}{100} x (NTK - NH_4^+) + 0.5(NH_4^+) + (NO_3^- + NO_2^-) \text{ Ec. (4)} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

ND: nitrógeno disponible (mg/kg)

K_{\min} : constante de mineralización para cada biosólido

NKT: nitrógeno total Kjeldahl del biosólido (mg/kg)

NH_4^+ : nitrógeno amoniacal en el biosólido (mg/kg)

NO_3^- y NO_2^- : nitratos y nitritos en el biosólido

Esto implica que cuando se efectúen las aplicaciones de biosólidos se pueda estar sobredosificando algún elemento presente, ya que las aplicaciones no se llevan a cabo considerando los requerimientos del cultivo sino las tasas máximas a usar, lo que podría ocasionar problemas más graves de contaminación en los suelos por un posible exceso del nitrógeno o el fósforo contenido en el suelo.

Referencias

Decreto 1287 (2014) [Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio]. Por el cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Julio 10 de 2014.

Leschber, R., & Spinosa, L. (1998). Developments in sludge characterization in Europe. *Water Science and Technology*, 38(2), 1-7.

Resolución 375 de 2006. [Resolução N° 375]. Critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. 29 de agosto de 2006. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México] (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de: <http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939> el 15/08/200

USEPA (1993). *Land Application of Sewage Sludge a Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge*, 40 CFR Part 503. EPA-831-B-93-002b. Washington DC: U. S. Environmental Protection Agency.

USEPA (2000). *Land Application of Biosolids. Biosolids Technology Fact Sheet EPA 832-F-00-064*. Washington DC: U. S. Environmental Protection Agency.

USEPA (2003). *Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. Environmental regulations and technology. EPA/625/R-92/013*. Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, Center for Environmental Research Information.

2.2 LEGISLACIÓN BRASILEÑA SOBRE USO EN LA AGRICULTURA DEL LODO GENERADO EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Simone Bittencourt

El tratamiento de aguas residuales (AR) genera como subproductos el efluente tratado, el lodo y, en el caso de usar procesos anaeróbicos, biogás. El lodo es el resultado de la remoción y la subsecuente concentración de la materia orgánica contenida en el AR, por lo que sus características dependerán tanto de la composición como del caudal del afluente como del sistema de tratamiento utilizado. Además, existe una fuerte relación entre el grado de tratamiento del AR y la cantidad de lodo producido, por lo que generalmente, una mejora en la eficiencia de los tratamientos de AR también contribuye al aumento en la generación de lodo.

En Brasil, el lodo proviene de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y se enmarca en la clasificación de residuos sólidos, Clase II A-no inertes, en los términos de la NBR 10004, los cuales pueden tener propiedades tales como: combustibilidad, biodegradabilidad o solubilidad en agua (ABNT, 2004). El adecuado destino final que se preste a estos residuos es un factor fundamental para que una PTAR alcance íntegramente su objetivo de descontaminación ambiental, mismo que constituye una necesidad tanto de salud pública y responsabilidad social como de preservación ambiental.

A escala global, es creciente la preocupación por la gestión sostenible de los residuos generados durante el saneamiento de las aguas servidas, como se revela en el Programa 21 (o Agenda 21, denominación en inglés) de la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992; en dicho programa, en el capítulo 21, se hace referencia específica a la Gestión ecológicamente racional de los desechos sólidos y cuestiones relacionadas con las aguas cloacales; asimismo, se establece que ese tipo de gestión debe ser una de las cuatro principales áreas de programas relacionados con el manejo de residuos (ONU, 1992).

Este aspecto también es ratificado en la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) de Brasil, al establecerse que, en la gestión y gerenciamiento

de residuos sólidos, se debe considerar el siguiente orden de prioridades: no generación, reducción, reutilización, reciclaje, tratamiento de los residuos sólidos, y la disposición de los residuos en los rellenos sanitarios (Ley núm. 12.305, 2010).

El uso en la agricultura es una forma ambientalmente amigable del destino final del lodo proveniente de AR, ya que promueve el reciclaje de nutrientes y energía, además de beneficiar los suelos al aportarles materia orgánica (MO), lo que induce mejorías en sus características físicas, químicas y biológicas. Por lo que este destino final genera beneficios tanto a la sociedad como al medio ambiente, ya que contribuye a mejorar el cultivo de alimentos y la conservación del suelo y del agua.

En Brasil, la Resolución 375/06 del Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), emitida el 29 de agosto de 2006 (por el MMA Brasil) reglamenta el uso con fines agrícolas del lodo generado en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Mientras que en el Estado de Paraná la Resolución 021/09 de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Hídricos (SEMA Paraná, 2009), siendo de menor jerarquía, contiene los procedimientos, normas y requisitos definidos en la Resolución 375/06 del CONAMA, pero en algunos aspectos es más restrictiva que lo establecido en la resolución federal.

Estas resoluciones enlistan los procedimientos para concesión de licencias, frecuencias de verificación o monitoreo de los lodos y elaboración de los proyectos agrícolas que involucren estos lodos, adicionalmente, para las condiciones de manejo, transporte y aplicación de este subproducto. Los documentos también proporcionan recomendaciones para los tipos de cultivos y áreas agrícolas que se consideren aptas para recibir adecuadamente los lodos, junto con las restricciones de ubicación, definición de las tasas de aplicación y el monitoreo de las áreas de aplicación de las zonas agrícolas; además, presentan procedimientos relacionados con la caracterización de los lodos provenientes de AR, mediante análisis de laboratorio y las frecuencias de esta caracterización, dependiendo de la cantidad de lodos utilizados con fines agrícolas. Entre los requisitos de la calidad de los lodos requerida para fines agrícolas se establecen los límites máximos de concentración para agentes patógenos y los indicadores bacterianos y contaminantes inorgánicos, igualmente, se requiere el monitoreo de sustancias orgánicas en los lodos provenientes de AR, sin determinar los límites máximos de concentración de estas.

En Paraná, los destinos de los lodos con fines agrícolas solo pueden formalizarse mediante la existencia de una Unidad de Gestión de Lodo (UGL), debidamente licenciada por el Instituto Ambiental del Paraná (IAP), que también debe estar autorizada por el Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento (MAPA) (Decreto Federal núm. 4.954, 2004). La Resolución CONAMA 375/06 define como Unidad de Gerenciamiento de Lodo (UGL) a la que es responsable de recibir, procesar, caracterizar, transportar y destinar el lodo producido por una o más PTAR. La UGL, además, se encarga del seguimiento de los efectos ambientales, agronómicos y sanitarios de su aplicación para uso en la agricultura (Resolución CONAMA 375/06, 2006).

Resolución CONAMA 375/06

En Brasil, el término “biosólido” no fue adoptado en la Resolución CONAMA 375/06 (2006) que regula el uso agrícola del lodo proveniente de AR; en dicha resolución se utiliza el término “Lodo proveniente de AR” para todo tipo de lodo, incluso cuando se trata de garantizar el uso seguro de este. En el presente estudio, para facilitar el entendimiento de la información, se utilizará el término biosólido para designar al lodo generado en una PTAR que ha recibido el tratamiento apropiado a fin de ser utilizado en la agricultura, conforme al análisis de criterios de legislaciones internacionales.

En los países de Europa y en los EUA, donde el uso en la agricultura de lodos provenientes de AR es más antiguo, la legislación para la aplicación de biosólidos se encuentra en una etapa bastante consolidada. En esos países, las grandes cantidades de lodos que se generan cada año en las PTAR son añadidas en miles de hectáreas de terrenos agrícolas, lo que lleva a tener reglamentos bastante completos para regular dicha aplicación, por lo que los criterios de control están en constante evaluación (Beecher, 2008). Anteriormente, la principal preocupación de los legisladores en el contexto mundial era el riesgo de la diseminación de patógenos por el suplemento de esos lodos; sin embargo, en la actualidad, debido a que los procesos de control de estos contaminantes ya se encuentran bastante consolidados, la preocupación de los parlamentarios en los países desarrollados es el control de sustancias químicas. La Academia Nacional de Ciencias de los EUA constató que no hay evidencia científica documentada de que los reglamentos estadounidenses vigentes sobre tratamiento y gestión de aguas residuales hayan cumplido con proteger eficientemente la salud pública.

Estos reglamentos se basan en la evaluación de los riesgos potenciales de organismos patógenos, contaminantes inorgánicos y algunos productos químicos encontrados en los biosólidos (Beecher, 2008).

La mayor parte de los criterios y procedimientos de la Resolución CONAMA 375/06, emitida el 29 de agosto de 2006, se basó en el reglamento estadounidense concerniente al tema. En los EUA, la cantidad permitida de contaminantes en el lodo proveniente de AR está regulada por la Agencia de Protección Ambiental (USEPA por sus siglas en inglés), en virtud de la autoridad que le fue concedida por la Ley de Agua Limpia (en inglés, *Clean Water Act-CWA- 1972 Amendments*) y, especialmente, por la Parte 503 del Código Federal de Regulaciones 40 (en inglés, 40 CFR Part 503) que entró en vigor en 1993, donde se establecen directrices para la reducción de patógenos y se imponen límites a la concentración de nueve contaminantes inorgánicos, no obstante, no incluye reglamentación sobre los contaminantes orgánicos en biosólidos (USEPA, 2009). La Sección 405 (d) de la CWA exige que la EPA identifique y reglamente los niveles de contaminantes tóxicos que pueden estar presentes en los biosólidos y que puedan tener efectos en la salud pública y el medio ambiente. De esta forma, periódicamente se efectúa la Encuesta Nacional sobre Lodos provenientes de AR (en inglés, *Targeted National Sewage Sludge Survey - TNSSS*), con el objetivo de asistir a la EPA en la evaluación de los niveles de sustancias potencialmente contaminantes contenidas en lodos generados en el tratamiento de AR (USEPA, 2009).

Aspectos relacionados con la calidad del biosólido

Sanidad

Los principales aspectos que abordan las legislaciones en relación con requisitos sanitarios se refieren a patrones y prácticas de gestión y tratamiento del lodo, proveniente de aguas residuales domésticas; lo anterior, con el objetivo de reducir tanto los contenidos de patógenos a niveles aceptables como la posibilidad de atracción de los vectores.

En Brasil, el lodo destinado a usos agrícolas se divide en clases A y B, ambas sujetas a restricciones para su uso; asimismo, se requiere que el contenido de patógenos sea reducido a niveles con una mínima probabilidad de causar enfermedades en las condiciones específicas de uso (Resolución CONAMA 375/06, 2006). Sin embargo, la Resolución CONAMA 375/06 establece que después de cinco años de la fecha de su publicación, es

decir, a partir de agosto de 2011, solo se permitirá el uso de lodos producidos en el tratamiento de AR de clase A, excepto en el caso de la propuesta de nuevos criterios o límites, basados en estudios de evaluación de riesgos y datos epidemiológicos nacionales que demuestren la seguridad del uso en la agricultura de lodos de clase B (Resolución CONAMA 375/06, 2006).

En el estado de Paraná, de acuerdo con la Resolución SEMA 021/09, para efectuar la aplicación del lodo proveniente de AR con fines agrícolas se deben cumplir los límites para la clase A (ver Tabla 2.7); además, dicho lodo debe ser sometido a los adecuados procesos de higienización (e.g., procesos de reducción adicional de patógenos [PRAP] y procesos de reducción de atracción de vectores [PRAV]).

Tabla 2.7 Límites de concentración de organismos patógenos e indicadores bacterianos en lodo proveniente de aguas residuales destinado a usos agrícolas.

Indicador bacteriano/ Agentes patógenos	Unidad	Límite en resoluciones		
		CONAMA 375/06		SEMA 021/09
		Lodo A	Lodo B	
Coliformes	NMP g ⁻¹ de sólidos totales (ST)	<10 ³	<10 ⁶	<10 ³
Huevos de helmintos viables	Huevos viables g ⁻¹ de ST	<0,25	<10	<0,25
Salmonella	en 10g ⁻¹ de ST	Ausencia	-	Ausencia
Virus	UFP o UFFg ⁻¹ de ST	<0,25	-	<0,25

NOTA: ST-Sólidos Totales, NMP-Número más probable, UFF-Unidad formadora de foco, UFP-Unidad formadora de placa.

Fuente: Resolución CONAMA 375/06 (2006), Resolución SEMA 021/09 (2009).

Las dos resoluciones (CONAMA 375/06 (2006), SEMA 021/09) permiten que se adopten procesos PRAP y PRAV no mencionados en ellas, siempre que sean aceptados por el órgano ambiental tras la debida comprobación de su eficiencia.

Contaminantes inorgánicos

La Tabla 2.8 permite comparar los límites de sustancias inorgánicas presentes en los lodos provenientes de AR, destinados a usos agrícolas, tanto de Brasil como del estado de Paraná, la Unión Europea (EU), Holanda (considerado uno de los países con límites más estrictos de la EU), los EUA y México. También, en la Tabla 2.8, se puede verificar que la Resolución SEMA 021/09 (2009), establece límites más restrictivos para algunas sustancias inorgánicas que las consideradas en la Resolución CONAMA 375/06 (2006). La Resolución CONAMA 375/06 establece, en el art. 8°, que la entidad ambiental competente podrá solicitar otros ensayos y análisis no citados en la resolución, en función de las características específicas del área de captación del alcantarillado sanitario y de los efluentes recibidos; por otra parte, las UGL podrán requerir, ante la entidad ambiental competente, dispensa o alteración de la lista de sustancias a ser analizadas en los lodos o productos derivados (Resolución CONAMA 375/06, 2006).

De acuerdo a Sampaio (2013), la Resolución CONAMA 375/06 plantea diferentes metodologías para definir los límites de los parámetros inorgánicos para As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Se y Zn; también, propone la metodología de análisis de riesgo propuesta por la CFR 40 Parte 503, y, para el Cr, Ba y Mo, establece la metodología de la Compañía Ambiental del Estado de São Paulo (CETESB). El autor considera inadecuado el uso de metodologías diferenciadas para la determinación de límites de concentración de sustancias inorgánicas contenidas en el lodo, así como el establecimiento de límites para todo el territorio brasileño (Cr, Ba y Mo) con base en valores de referencias establecidos a través de estudios de caracterización de suelos efectuados en el estado de São Paulo.

Según la Directiva 86/278 /EEC de la UE, la concentración de sustancias inorgánicas en los biosólidos no debe superar el límite superior presentado en la Tabla 2.8, considerando que los Estados miembros deben evaluar el aumento de la dispersión de las sustancias, su absorción por plantas y, de ser necesario, la reducción de valores límite fijados (DOCE, 1986). El documento de trabajo de revisión de la Directiva 86/278/EEC propone que las concentraciones límites (expuestos en Tabla 2.7) disminuyan a largo plazo (Iranpour, et al., 2004).

Tabla 2.8 Límites de sustancias inorgánicas contenidas en lodos con fines de uso agrícola en Brasil, el estado del Paraná, la unión europea, Holanda, EUA y México.

País	Límite	Parámetros (mg kg ⁻¹ ST)										
		As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
Brasil ⁽¹⁾		41	1300	39	1000	1500	17	50	420	300	100	280
												0
Paraná ⁽²⁾	Actual superior	41	1300	20	1000	1000	16	50	300	300	100	250
												0
	Actual superior	-	-	40	-	1750	25	-	400	120	-	400
										0		0
UE ⁽³⁾	Actual inferior	-	-	20	-	1000	16	-	300	750	-	250
												0
	Corto plazo	-	-	10	1000	1000	10	-	300	750	-	250
												0
Mediano plazo		-	-	5	800	800	5	-	200	500	-	200
												0
	Largo plazo	-	-	2	600	600	2	-	100	200	-	150
											0	
Holanda ⁽³⁾		15	-	1,25	75	75	0,75	-	30	100	-	300
EUA ⁽⁴⁾	EQ	41	-	39	-	1500	17	-	420	300	100	280
												0
	Máximo	75	-	85	-	4300	57	75	420	840	100	750
											0	
México ⁽⁵⁾	Exce-lente	41	-	39	1200	1500	17	-	420	300	-	280
												0
	Bueno	75	-	85	30000	4300	57	-	420	840	-	750
											0	

Fuente: (1) Resolución CONAMA 375/06 (2006); (2) Resolución SEMA 021/09 (2009); (3) Iranpour et al. (2004); (4) USEPA (2007); (5) SEMARNAT, México (2003).

NOTA: EQ (exceptional quality)-biosólido de calidad excepcional

Las resoluciones CONAMA 375/2006 y SEMA 021/09 determinan que se deben observar los límites de carga total acumulada teórica en el suelo, en cuanto a la aplicación de sustancias inorgánicas, no estableciendo el periodo de tiempo o cantidad de aplicaciones subsiguientes en la misma área para cumplir con esos límites. Las resoluciones también establecen que cuando la carga acumulada teórica agregada para cualquiera de las sustancias inorgánicas alcance el 80% de la carga acumulada teórica permitida establecida (ver Tabla 2.9), se deberá realizar el monitoreo de sustancias inorgánicas en el suelo después de la aplicación del lodo.

Tabla 2.9 Límites de carga acumulada de sustancias inorgánicas después de la aplicación de lodo en suelo para Brasil, el estado de Paraná, la Unión Europea y EUA

País	Unidades del límite	Parámetros										
		As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
Brasil ⁽¹⁾	(kg ha ⁻¹)	30	$\frac{26}{5}$	4	154	137	1,2	13	74	41	13	445
Paraná ⁽²⁾	(kg ha ⁻¹)	30	$\frac{26}{5}$	4	154	137	1,2	13	74	41	13	445
UE ⁽³⁾	(kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	-	-	0,15	-	12	0,1	-	3	15	-	30
EUA ⁽⁴⁾	APLR (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	2	-	1,9	-	75	0,85	-	21	15	5	140
	CPLR (kg ha ⁻¹)	41	-	39	-	$\frac{150}{0}$	17	-	420	300	100	$\frac{280}{0}$

Fuente: (1) Resolución CONAMA 375/06 (2006); (2) Resolución SEMA 021/09 (2009), (3) DOCE (1986), (4) USEPA (1994).

NOTA: Límite basado en la carga acumulada de contaminantes (en inglés, Cumulative Pollutant Loading Rate, CPLR) y límite basado en la carga acumulada anual de contaminantes (en inglés, Annual Pollutant Loading Rate APLR).

En la CFR 40, Parte 503, se establecen los límites de contaminantes inorgánicos de acuerdo con el tipo de biosólido, es decir: biosólido de calidad excepcional (EQ) presentado en la Tabla 2.7, biosólido CPLR (por sus siglas en inglés, Cumulative Pollutant Loading Rate, CPLR) obtenido sobre la base de la carga acumulada de contaminantes y biosólido APLR (por sus siglas en inglés, Annual Pollutant Loading Rate) obtenido sobre la base de la carga acumulada anual de contaminantes, estos dos últimos

presentados en la Tabla 2.8 (USEPA, 1994). Si la concentración de la sustancia inorgánica en el biosólido se encuentra entre el límite EQ y el límite máximo, se debe satisfacer el límite de la carga acumulada presentada en la Tabla 2.8 (Iranpour, et al., 2004).

Además de establecer límites para las cantidades anuales de sustancias inorgánicas que pueden ser incorporadas en los suelos, sobre la base de una media de 10 años (ver Tabla 2.8), la UE también establece límites de concentración de sustancias inorgánicas en los suelos, con base en una muestra representativa con pH entre 6 y 7 (ver Tabla 2.10), resaltando que el suelo no podrá recibir biosólido si contiene ya en sí una concentración por encima de esos límites (DOCE, 1986).

Tabla 2.10 Límites de sustancias inorgánicas en el suelo (pH 6 a 7) definidos en la Directiva 86/278/EEC de la UE.

Parámetros	Cadmio	Cobre	Níquel	Plomo	Zinc	Mercurio
Límites (mg kg ⁻¹)	1 a 3	50 a 140	30 a 75	50 a 300	150 a 300	1 a 1,5

Fuente: DOCE (1986).

Según Hespanhol (2014), prevenir la acumulación de contaminantes en el suelo es uno de los dos criterios más importantes para implantar normas que regulen la disposición de biosólidos en el suelo; este criterio se cumple mediante el establecimiento de límites numéricos para variables significativas, a partir de las cuales se asume que la introducción de contaminantes en el suelo es compensada por la remoción correspondiente, como puede ser: el escurrimiento superficial, lixiviación, evaporación y absorción por las plantas. Su principal ventaja es que no hay necesidad de datos sobre el transporte y la degradación de contaminantes, escenarios de exposición y relaciones dosis-respuestas. Sin embargo, a pesar de poder ser utilizado globalmente, este criterio conduce a valores extremadamente restrictivos que exigen sistemas avanzados de tratamiento o de tasas de aplicación muy restrictivas. El segundo criterio es aquel que tiene por objetivo maximizar la capacidad del suelo para asimilar y atenuar el efecto de los contaminantes; en este criterio son determinadas las concentraciones máximas permitidas en el suelo con base en escenarios de exposición, tasas de transferencia de contaminantes y cantidades de contaminantes transferidos en cada fase de la cadena de transmisión.

Según el autor, ese criterio es el que lleva a límites aceptables, permitiendo su aplicación en países que no disponen de recursos financieros para adoptar sistemas avanzados de tratamiento.

Contaminantes orgánicos

La mayoría de los enfoques sobre la presencia de contaminantes orgánicos en lodos se basan en la elección de compuestos de mayor incidencia en los usos industriales o domésticos de las aguas (Rogers, et al., 1989). La Resolución CONAMA 375/06 (2006), en Brasil, y la Resolución SEMA 021/09 (2009), en el estado de Paraná, establecen una lista de 34 contaminantes orgánicos que deben ser evaluados, incluso cuantitativamente, en lodos provenientes de AR destinados a usos agrícolas (ver tabla 2.11).

Tabla 2.11 Lista de sustancias orgánicas a ser cuantificadas en lodos provenientes de PTAR según las resoluciones CONAMA 375/06 y SEMA 021/09, a fin de dar uso agrícola a los lodos

Grupo de sustancias	Sustancia		
Bencenos clorados	1,2-Diclorobenceno	1,2,3-Triclorobenceno	1,2,3,4- Tetraclorobenceno
	1,3-Diclorobenceno	1,2,4-Triclorobenceno	1,2,4,5- Tetraclorobenceno
	1,4-Diclorobenceno	1,3,5-Triclorobenceno	1,2,3,5- Tetraclorobenceno
Ftalatos o ésteres de ácido ftálico	Di-n-butilftalato	Di(2-etilhexil)ftalato	Dimetil ftalato
		(DEHP)	
Fenoles no clorados	Cresoles		
Fenoles clorados	2,4-Diclorofenol	2,4,6-Triclorofenol	Pentaclorofenol
Hidrocarburos aromáticos Policíclicos (HPAs)	Benzo(a)antraceno		
	Benzo(a)pireno	Indeno(1,2,3-c.d)pireno	Fenantreno
	Benzo(k)fluoranteno	Naftaleno	Lindano
Contaminantes orgánicos persistentes (COPs)	Aldrin	Clordano	Mirex
	Dieldrin	Heptacloro	Hexaclorobenceno
	Endrin	DDT Toxafeno	PCBs Dioxinas y Furanos

Fuente: Resolución CONAMA 375/06 (2006) y Resolución SEMA (2009).

En la Tabla 2.11, se muestran los compuestos orgánicos industriales y agro-tóxicos, incluyendo los 12 Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) contenidos en la Convención de Estocolmo (UNEP, 2001), cuya producción y uso están prohibidos en Brasil desde 2004. La inclusión de las sustancias orgánicas en las resoluciones fue fundamentada en resultados preliminares de investigaciones a nivel nacional y en la legislación internacional, ya que en Brasil son escasos los estudios sobre el tema.

En la Tabla 2.12 se presentan algunos de los pocos países que establecen límites para contaminantes orgánicos en sus normativas referentes a la calidad de biosólidos. Para la UE, los compuestos orgánicos, presentados en esta Tabla, no figuran en la Directiva 86/278/EEC, sino que forman parte de una propuesta para establecer límites para las concentraciones de determinados grupos de contaminantes orgánicos (Iranpour, et al., 2004).

Tabla 2.12 Límites de concentraciones de contaminantes orgánicos contenidos en biosólidos destinados a usos agrícolas establecidos en la normatividad de diferentes países

Contaminantes orgánicos	Concentración límite (mg kg ⁻¹ ST)					
	UE ⁽¹⁾	República Checa ⁽²⁾	Alemania (Propuesta) 2007)	Eslovenia ⁽²⁾	China ⁽²⁾	Nueva Escocia Canadá ⁽³⁾
Orgánicos halogenados absorbibles (AOX)	500	500	400	-	500	-
Sulfonatos de alquilbenzeno lineares	2.60 0	-	-	-	-	-
Di (2-etilhexil) ftalato (DEHP)	100	-	-	-	-	-
Nonilfenol y Nonifenoles etoxilados	50	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA)	6	-	1*	0,04	3*	-
Bifenilas policloradas (PCBs)	0,8	0,6**	0,1**	< 0,05	0,2	1,7x10 ⁻⁵ ***
Dioxinas y furanos	10 ⁻⁴		3x10 ⁻⁵		10 ⁻⁴	5x10 ⁻⁵ ****

Fuente: (1) Iranpour et al. (2004), (2) Beecher (2008), (3) CCME (2010)

NOTA: * Benzo (a) pireno, ** suma de 6 congéneres, *** Clase A, **** Clase B

En la UE, algunos Estados miembros han introducido límites para parámetros adicionales como contaminantes orgánicos, patógenos y otros elementos. En el caso de los Países Bajos, la región flamenca en Bélgica, Baviera y Alemania, los rigurosos patrones resultaron en la prohibición efectiva de la utilización de biosólidos (EC, 2009).

Las resoluciones CONAMA 375/06 y SEMA 021/09 no establecen límites máximos de concentración para sustancias orgánicas contenidas en el lodo; sin embargo, establecen que siempre que estas sean detectadas en la caracterización del lodo proveniente de AR, deberá ser realizado el monitoreo de esas sustancias orgánicas contenidas en el suelo, también, determinan que deben ser observadas constantemente las concentraciones en el suelo descritas en la Tabla 2.13, agregando que, la frecuencia del monitoreo será establecida por el órgano ambiental competente.

Tabla 2.13 Concentraciones de sustancias orgánicas permitidas en suelos agrícolas según las resoluciones CONAMA 375/06, SEMA 021/09, y valores de prevención de la CETESB (2014).

Compuestos	Concentración permitida en el suelo CONAMA 375/06	Valor de prevención CETESB 2014
	(mg kg ⁻¹)	
BENZENOS CLORADOS		
1,2-Diclorobenceno	0,73	0,7
1,3-Diclorobenceno	0,39	0,4
1,4-Diclorobenceno	0,39	0,1
1,2,3-Triclorobenceno	0,01	0,01
1,2,4-Triclorobenceno	0,011	0,01
1,3,5-Triclorobenceno	0,5	0,5
1,2,3,4-Tetraclorobenceno	0,16	0,003
1,2,4,5-Tetraclorobenceno	0,01	0,01
1,2,3,5-Tetraclorobenceno	0,0065	0,006
FTALATOS O ÉSTERES DE ÁCIDO FTÁLICO		
Di-n-butilftalato	0,7	0,1
Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	1	1
Dimetil ftalato	0,25	0,25
FENOLES NO CLORADOS		
Cresóis	0,16	0,2

Compuestos	Concentración permitida en el suelo CONAMA 375/06	Valor de prevención CETESB 2014
	(mg kg ⁻¹)	
FENOLES CLORADOS		
2,4-Diclorofenol	0,031	0,03
2,4,6-Triclorofenol	2,4	0,1
Pentaclorofenol	0,16	0,01
HIDROCARBONOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs)		
Benzo(a)antraceno	0,025	0,2
Benzo(a)pireno	0,052	0,1
Benzo(k)fluoranteno	0,38	0,8
Indeno(1,2,3-c.d)pireno	0,031	0,4
Naftaleno	0,12	0,7
Fenantreno	3,3	3,6
Lindano	0,001	0,001
CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES (COPs)		
Aldrin	-	0,02
Dieldrin	-	0,01
Endrin	-	0,001
Clordano	-	-
Heptacloro	-	-
DDT	-	0,01
Toxafeno	-	-
Mirex	-	-
Hexaclorobenzeno	-	-
PCBs	-	0,0003
Dioxinas y Furanos	-	-

Fuente: Resolución CONAMA 375/06 (2006); Resolución SEMA 021/09 (2009); CETESB (2014).

Los valores de concentraciones de compuestos orgánicos permitidos en suelos agrícolas, según las resoluciones CONAMA 375/06 y SEMA 021/09, son iguales a los valores de prevención para suelos establecidos por la CETESB (2005). De acuerdo con esta última publicación, los valores de prevención (VP) representan la concentración máxima de determinada sustancia, encima de la cual pueden ocurrir alteraciones perjudiciales en la calidad tanto del suelo como del agua subterránea. Los VP se determinaron para el suelo con base en ensayos con receptores ecológicos y

deben ser utilizados para estandarizar la introducción de sustancias ajenas al suelo. Cuando esta cantidad se sobrepasa, la continuidad de la actividad de incorporación de lodo en los suelos será sometida a una nueva evaluación y los responsables legales por la agregación de las cargas contaminantes deben proceder al monitoreo de los impactos resultantes.

Se observa en la Tabla 2.13 que la Resolución CONAMA 375/06 no establece concentraciones en el suelo para los COPs, sin embargo, en 2014 la *Companhia Ambiental do Estado de São Paulo* efectuó la sustitución de los valores orientadores para suelos y aguas subterráneas en el estado de São Paulo, incluyendo VP para algunos COPs (CETESB, 2014).

En los EUA se llevó a cabo la Encuesta Nacional sobre Lodos provenientes de Aguas Residuales (*Targeted National Sewage Sludge Survey–TNSSS*), con el fin de evaluar la presencia de 145 sustancias, entre estas: 4 aniones (nitrito, nitrato, fluoruro y fósforo soluble), 28 contaminantes inorgánicos, 4 HAPs, 2 sustancias semivolátiles, 11 retardadores de llama, 72 fármacos y 25 esteroides y hormonas, en 74 PTARs. El objetivo de la encuesta fue identificar contaminantes tóxicos adicionales que pueden estar presentes en lodos producidos en el saneamiento y, cuando fuera apropiado, promulgar regulaciones para esos contaminantes, consistentes con lo establecido en Ley de Agua Limpia (en inglés, CWA) (USEPA, 2009).

De los compuestos analizados en la encuesta (TNSSS), solo dos constan en la Resolución CONAMA 375/06 (2006): el compuesto orgánico semivolátil Di (2-etilhexil) ftalato (DEHP), el cual se utiliza como plastificante, y el hidrocarburo aromático policíclico (HAP) benzo (a) pireno, oriundo de la pirolisis o combustión incompleta de la materia orgánica.

Frecuencia de monitoreo de los biosólidos

En Brasil, la frecuencia de monitoreo para lodos generados en el saneamiento que pueden ser utilizados en la agricultura se define con base en la cantidad del biosólido destinado a ello, por toneladas de sólidos totales (ST), de forma similar a lo establecido en los EUA (ver Tabla 2.14). En México (SEMARNAT, 2003) y en una propuesta de la UE, aún sin entrar en vigor [Informe Final, Parte I visión general, Impactos sociales, económicos y ambientales del uso del lodo proveniente del saneamiento de AR en suelos] (EC, 2009), el monitoreo se define con base en la cantidad de biosólido producido.

Tabla 2.14 Frecuencia de monitoreo para biosólido que pueden ser utilizados en agricultura según reglamentación de los EUA, Unión Europea, México y Brasil

Reglamento		Frecuencia de monitoreo (veces por año)					
		Una	Dos	Cuatro	Seis	Ocho	Doce
		ST (t año⁻¹)					
CONAMA 375/06 ⁽¹⁾		< 60	60 - 240 1500	240 - 15000	1500 -	-	> 15000
CFR 40 Parte 503 ⁽²⁾		< 290	-	290- 1500	1500- 15000	-	> 15000
Informe final Impactos EC ⁽³⁾	Parámetros agronómicos	< 50	50- 250	250- 2500	-	2500- 5000	> 5000
	Sustancias inorgánicas	< 50	50- 250	250- 2500	-	2500- 5000	> 5000
	Orgánicos (sin Dioxinas)	250-1000	1000- 2500	2500- 5000	> 5000	-	-
	Dioxinas	1000-5000	> 5000	-	-	-	-
Microorganismos		< 50	50- 250 2500	250- 5000	-	2500- 5000	> 5000
México ⁽⁴⁾		< 1500 15000	1500- 2500	>15000	-	-	-

Fuente: (1) Resolución CONAMA 375/06 (2006), (2) USEPA (2007), (3) EC (2009), (4) SEMARNAT, México (2003).

De acuerdo con la reglamentación actual de la UE, los Estados miembros deciden sobre la frecuencia de monitoreo para el muestreo de biosólidos y suelos, así como sobre los análisis requeridos. Según la norma, el lodo debe analizarse al menos cada seis meses y si se constatan variaciones en la calidad de las AR se debe aumentar la frecuencia de los análisis. Si los resultados de los análisis no varían de manera significativa durante el período de un año, el lodo debe analizarse de doce en doce meses. Los parámetros a ser analizados son: materia seca, MO, pH, N, P, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg y Cr, siendo que, cuando sea comprobado que no se encuentran presentes el Cu, Zn y Cr o se encuentran presentes en cantidades despreciables en el agua residual, es posible solicitar una modificación en la frecuencia de los análisis (DOCE, 1986).

En los EUA, en la CFR 40, Parte 503, se estipulan las frecuencias de monitoreo en los biosólidos referidas a parámetros de sanidad y sustancias inorgánicas, y en Brasil, en la Resolución CONAMA 375/06 se refieren a parámetros agronómicos de sustancias inorgánicas, sanidad y sustancias orgánicas; sin embargo, según la propuesta plasmada en el informe final presentado a la Comisión Europea (EC, 2009), la frecuencia de seguimiento puede ser distinta para cada uno de los siguientes parámetros: parámetros agronómicos, sustancias inorgánicas, sustancias orgánicas (excepto las dioxinas), dioxinas y microorganismos. En la norma mexicana la frecuencia de monitoreo se refiere a sustancias inorgánicas, indicadores bacterianos de contaminación, patógenos y parásitos. Además, en la CFR 40 Parte 503 se establece que se permite la reducción de la frecuencia de monitoreo después de dos años que el biosólido ha sido monitoreado conforme a la frecuencia establecida en la Tabla 2.14.

Según la norma mexicana, el generador puede estar exento de realizar el muestreo y análisis de uno o más de los parámetros definidos, siempre que la detección de estos sea en cantidades menores que los límites fijados o cuando, debido al origen del lodo y biosólido, estos no contengan los contaminantes establecidos en la norma; en ambos casos, deberá demostrarse por escrito y bajo juramento, quedando la información sujeta a verificación por las autoridades competentes (SEMARNAT, México, 2003).

La Resolución CONAMA 375/06 establece que la caracterización del lodo de saneamiento de AR, representada por el muestreo, es válida exclusivamente para el lote generado durante el período comprendido entre este muestreo y el subsiguiente; determina además, que si los valores para sustancias potencialmente tóxicas alcanzan el 80% de los límites establecidos, la frecuencia de monitoreo deberá ser aumentada según los parámetros definidos por el órgano ambiental competente, además, la UGL deberá implementar las medidas adecuadas para reducir estos valores. También, estipula que a criterio del órgano ambiental encargado de las licencias, en conjunto con los órganos de salud y de agricultura competentes, las frecuencias de monitoreo pueden ser aumentadas, si esto es debidamente justificado (Resolución CONAMA 375/06, 2006).

Cultivos aptos para recibir biosólidos

En Brasil (una vez que, a partir de agosto de 2011, solo se permite el uso del lodo Clase "A" para fines agrícolas) y en el estado de Paraná está prohibida la utilización de lodos generados por el saneamiento en suelos que sustenten pastos y cultivos de plantas olerícolas (hortalizas), tubérculos y raíces, así como en cultivos inundados y en los demás cultivos cuya parte comestible entre en contacto con el suelo, como son: el maní, la yuca y la papa. En los suelos donde se aplica ese tipo de lodo, los pastos podrán ser sembrados hasta después de un período mínimo de 24 meses, posterior a la última aplicación, y solo después de pasado un período mínimo de 48 meses, subsiguiente a la última aplicación, podrán cultivarse olerícolas, tubérculos, raíces y demás cultivos cuya parte comestible entre en contacto con el suelo, adicionalmente, aquellos cultivos que requieren condiciones de inundación. De igual forma, esta clase de lodo puede ser utilizado en cultivos cuyos productos son consumidos después de la industrialización o en aquellos que no sean consumidos "in natura", tales como: frijol, soja, sorgo, canola, trigo, cebada, cultivos forrajeros para fertilización verde y en la reforestación (Resolución CONAMA 375/06, 2006; Resolución SEMA 021/09, 2009).

En cuanto al lodo generado del saneamiento de AR de clase "B", la Resolución CONAMA 375/06 permite su utilización solo para cultivo de café, silvicultura, cultivos para producción de fibras y aceites, con la aplicación mecanizada en surcos o pozos, efectuada durante la incorporación del lodo. Esta misma resolución no es aplicable para uso de lodos provenientes de AR de cualquier clase en áreas degradadas, el cual no es incluido como uso agrícola del lodo. Así, para este tipo de disposición final se hace necesaria la elaboración de un proyecto específico y de autorización ambiental del órgano ambiental estatal (Bittencourt, 2014).

En los EUA, el término "Calidad Excepcional" (en inglés, Exceptional Quality, EQ) fue introducido para describir a los biosólidos que cumplen simultáneamente con los tres siguientes criterios: las exigencias de límites de concentración de contaminantes (ver Tabla 2.1.5), los requerimientos de cantidad de patógenos de los lodos clase A, y la reducción de atracción de vectores en su procesamiento. Este término no fue definido en la CFR Parte 503, pero es aceptado nacionalmente, y determina que los biosólidos con esta calidad pueden ser libremente aplicados en suelos sin ninguna restricción. Sin embargo, la tasa de aplicación debe estar de acuerdo con las necesidades de nutrientes para el crecimiento de las plantas, además

de cumplir con la normatividad relativa al monitoreo de la calidad del suelo. De la misma forma, no se establecen restricciones de uso para el biosólido de patrón avanzado en el informe final de la propuesta presentada a la UE (2009) de su futura reglamentación. Para el biosólido Clase "B" en los EUA y para el estándar convencional en la UE, se establecen restricciones de uso, la cuales se resumen en la Tabla 2.15 (Iranpour, et al., 2004).

Tabla 2.15 Restricciones de uso para el biosólido clase "B" y de estándar convencional, según la reglamentación de los EUA y de la Unión Europea respectivamente.

Aplicación	Clase B (EUA)	Estándar convencional (UE)
Alimentos u otros cultivos cuyo producto de la cosecha no tiene contacto con la superficie del suelo.	No colectar antes de 30 días.	-
Alimentos cuyas partes cosechadas están totalmente por encima del suelo, pero tocan la superficie del suelo.	No colectar antes de 14 meses.	No colectar antes de 12 meses.
Frutas y vegetales en contacto con el suelo y otros alimentos que son consumidos crudos.	-	No colectar antes de 30 meses.
Alimentos cuyas partes cosechadas están por debajo de la superficie de la tierra: - los biosólidos permanecen en el área por más de 4 meses, antes de la incorporación al suelo, - los biosólidos permanecen en el área por menos de 4 meses, antes de la incorporación al suelo.	No colectar antes de: 20 meses b) 38 meses	-
Producción de césped, ubicada en un área con un alto potencial de exposición pública.	Impedir el contacto o exposición con el público antes de 12 meses.	
Pastos.	Sin pastoreo antes de 30 días.	Por seis semanas. Forrajeras sin cosecha en seis semanas, después de la aplicación.
Terreno con alto potencial de contacto o exposición con el público (e.g., parque o campo de fútbol).	Acceso restringido por 12 meses.	Prohibida la aplicación.

Aplicación	Clase B (EUA)	Estándar convencional (UE)
Terreno con bajo potencial de contacto o exposición pública (e.g., tierras agrícolas privadas).	Acceso restringido por 30 días	Aplicación a profundidad o con arado inmediato a la aplicación (tierras arables).
Árboles frutales, viñedos, plantaciones de árboles y reforestación y recuperación de áreas degradadas.		Aplicación en profundidad y sin acceso al público durante 10 meses después de la aplicación.

Fuente: Iranpour, et al. (2004).

Tasa de aplicación de biosólidos

La Resolución CONAMA 375/06 (2006) establece que la tasa de aplicación máxima en base seca ($t \text{ ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) debe ser el menor valor calculado de acuerdo con los siguientes criterios:

- La aplicación máxima anual no debe exceder el cociente entre la cantidad de N recomendada para el cultivo (en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), según la recomendación agronómica oficial del Estado, y el contenido de N disponible en el lodo proveniente del saneamiento de AR (N_{disp} en $\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$), calculado de la siguiente manera:

$$N_{\text{disp}} = (FM/100) \times (NKj-NH_3) + 0,5 \times (NH_3) + (NO_3 + NO_2) \text{ Ec. (5)}$$

Donde:

FM: fracción de mineralización del nitrógeno (%);

NKj: Nitrógeno Kjeldahl (mg kg^{-1});

NH₃: Nitrógeno amoniacal ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y NO₃ + NO₂: Nitrato y Nitrito ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

- El cálculo de la tasa de aplicación máxima anual deberá considerar los resultados de los ensayos de elevación de pH, provocados por el lodo en el suelo predominante en la región, a fin de garantizar que el pH final de la mezcla suelo-lodo no supere el límite de 7,0.

- Se deben observar los límites de carga total acumulada teórica en el suelo conforme la aplicación de sustancias inorgánicas (ver Tabla 2.3).

Es importante destacar que, en el caso de la aplicación de lodo higienizado por estabilización alcalina, la elevación del pH del suelo a valores superiores a siete, podrá producir más fácilmente efectos negativos en los cultivos agrícolas, conforme a lo observado por Chueiri, et al. (2007) y por Tamanini, et al. (2008).

La Directiva 86/278/EEC establece que para la aplicación del lodo se deben considerar las necesidades nutricionales de las plantas sin poner en riesgo la calidad, tanto del suelo como de las aguas superficiales y subterráneas. En el caso de la aplicación en suelos con pH inferior a 6, los Estados miembros deberán considerar el aumento de la movilidad de las sustancias inorgánicas y su absorción por las plantas y, si fuera necesario, reducir los valores límite de concentración de las sustancias inorgánicas en los suelos (DOCE, 1986).

Según Harrison, et al. (2006), existen diferencias importantes entre los enfoques de Europa y los de EUA, en la determinación de la tasa de aplicación de lodo en suelos agrícolas. En algunos países europeos la tasa de aplicación de lodo está limitada directamente por la cantidad de materia seca de lodo en una hectárea al año (que varía de 1 a 4 t ha⁻¹ año⁻¹), en otros, la limitación se basa en la tasa de aplicación de P en el suelo, que es mucho más restrictiva que la tasa basada en la limitación de N, utilizada en los EUA. En Dinamarca, por ejemplo, la tasa de aplicación no puede exceder los 30 kg de P ha⁻¹ año⁻¹, lo que corresponde a, aproximadamente, 1 t ha⁻¹ año⁻¹ de sólidos totales (ST) de lodo, mientras que en los EUA la tasa límite es de 10 t·ha⁻¹·año⁻¹ de ST de lodo.

La norma mexicana no presenta criterios para calcular la tasa de aplicación (SEMARNAT, México, 2003) y en Canadá la tasa de aplicación de biosólidos es definida por las provincias, siendo que, de las once provincias, en siete se establece la tasa de aplicación basada solamente en la tasa agronómica. Algunas provincias establecen restricciones para la frecuencia de aplicación; por ejemplo, en Quebec la tasa de aplicación se calcula sobre la base de la tasa agronómica, considerando el suministro de N y P, sin embargo, para el uso forestal el límite es de 200 kg de N disponible ha⁻¹ año⁻¹ y para biosólido C2 (clase con mayor contenido de sustancias inorgánicas) una tasa máxima de 22 t ha⁻¹ de ST durante 5 años (CCME, 2010).

Consideraciones finales

En el estado de Paraná la Resolución SEMA 021/09 (2009) contiene los procedimientos, estándares y requisitos para la utilización de los lodos en la agricultura, definidos en la Resolución CONAMA 375/06; dicha resolución es, en algunos aspectos, más restrictiva que la resolución federal. Tanto las regulaciones anteriores (Instrucción Técnica IAPCEP/DTA n. 001/2002, la Resolución SEMA 001/07) como la norma actual (Resolución SEMA 021/09), no permiten la existencia de lodos equivalentes a la clase B (Resolución CONAMA 375/06, 2006), ya que tienen límites menores a la concentración máxima permitida en lodos provenientes del saneamiento para Cd, Cu, Hg, Ni y Zn, en comparación con la Resolución CONAMA 375/06 (2006).

La Resolución SEMA 021/09 (2009) define UGL como una unidad vinculada, o no, a una PTAR que realiza la gestión de los lodos generados por una o más PTARs, con fines de reutilización agrícola. El documento considera que el lodo solo se puede aplicar en la agricultura, si cumple con los requisitos previos que tornen su uso seguro, siendo los principales tópicos reglamentados los que siguen:

- Licenciamiento ambiental: define el sistema de licenciamiento en el reciclaje agrícola.
- Caracterización y calidad del lodo: establece que el lodo debe ser caracterizado en relación con el potencial agronómico, estabilidad, sustancias inorgánicas y orgánicas potencialmente tóxicas e indicadores bacterianos y agentes patógenos. Además, define los límites máximos para sustancias inorgánicas, agentes patógenos y estabilidad.
- Capacidad de las áreas para la aplicación: establece un sistema de clasificación de la capacidad del suelo para la aplicación de lodo (Souza, et al., 2008), considerando características del suelo, localización y entorno de las áreas.
- Cultivos en los que se permite el uso de lodo: define los cultivos donde el uso está vetado.
- Formas de aplicación: define la forma de aplicación en función del relieve de las áreas.

- Tasas de aplicación: establece criterios para definir la tasa de aplicación en función de las características del lodo, del suelo donde se utilizará y del cultivo a ser plantado.
- Transporte del lodo: establece requisitos para el transporte de la UGL hasta las áreas de uso.
- Frecuencia de muestreo: define la frecuencia en función del tamaño de la UGL.
- Control de la aplicación: define la necesidad de elaboración de un proyecto agronómico.
- Monitoreo ambiental: establece los criterios de monitoreo de las áreas que recibieron aplicación de lodo proveniente del saneamiento de AR.

De acuerdo con lo establecido en la Resolución CONAMA 375/06 (2006), los criterios en ella contenidos pueden ser reformulados en cualquier momento, con base en investigaciones científicas y desarrollo tecnológico; el Ministerio de Medio Ambiente coordinaría un grupo de monitoreo permanente que se reunirá al menos anualmente, y su revisión sería obligatoria en el séptimo año de su publicación; sin embargo, hasta el segundo semestre del año 2015, nada ha cambiado en el documento.

Además, se hace necesaria la revisión de la Resolución CONAMA 375/06 (2006), la cual, en algunos criterios y procedimientos, no es aplicable a las condiciones paranaenses, dificultando la gestión del proceso de uso agrícola del lodo. En este proceso de revisión, se debe verificar si es posible hacer menos burocrático y oneroso el destino agrícola de lodo, sin comprometer la seguridad sanitaria y ambiental de ese uso agrícola. De modo que la norma sea una herramienta que promueva la adopción de criterios y procedimientos concordantes con la realidad paranaense y brasileña, contribuyendo a la difusión de esa alternativa de destino sostenible del lodo.

Referencias

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2004. NBR 10004: Resíduos Sólidos - Clasificación. Río de Janeiro.
- Beecher, N. (2008). Moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource. In: Leblanc, R. J., Matthews, P., Richard, R. P. (Ed.). *Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge and Biosolids Management*. Malta: Progress Press, 2008.

- Bittencourt, S. (2014). *Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução CONAMA 375/06* [Gestión del proceso de uso agrícola del lodo de saneamiento de AR en el estado de Paraná: Aplicabilidad de la Resolución CONAMA 375/06]. (220 p. Tesis Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CCME (2010). *A Review of the Current Canadian Legislative Framework for Wastewater Biosolids*. Canadian Council of Ministers of the Environment.
- CETESB (2005). *Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo* [Valores Orientadores para Suelos y Aguas Subterráneas en el Estado de São Paulo]. São Paulo: CETESB, Decisão de Diretoria N° 195-2005-E. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
- CETESB (2005). *Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2004*. São Paulo, (Série Relatórios). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: abr. 2014
- Chueiri, W. A., Serrat, B. M., Biele, J. y Favaretto, N. (2007). *Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo* [Lodo de saneamiento de AR y fertilizante mineral sobre parámetros del suelo y de plantas de trigo]. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, 11(5), 502-508.
- Decreto n° 4.954 de 14/01/2004. Norma Federal Brasileira publicada en el Diario Oficial.
- DOCE (1986). Directiva del Consejo 86/278/EEC del 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 de las Comunidades Europeas*, N° L 181/6. Recuperado de: <http://eur-lex.europa.eu/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=OwFVVACVJfydl>.
- EC (2009). *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. Final Report. Part I: Overview. Report by RPA, Milieu Ltd and WRc for the European Commission, DG*. Environment, European Commission. Belgium.
- Harrison, E. Z., Oakes, S. R., Hysell, M., & Hay, A. (2006). Organic chemicals in sewage sludges. *Science of the Total Environment*, 367, 481-497.
- Hespanhol, I. (2014). Normas anormais [Normas anormales]. *Revista Dae*, Jan - Abr, 194, 6-23.
- Instrução Técnica IAPCEP/DTA n. 001/2002 [Instrução Técnica IAPCEP/DTA n. 001/2002]. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e

Recursos Hídricos. Instituto Ambiental do Paraná. Dispõe sobre a utilização agrícola de lodo de estação de tratamento de esgoto sanitário. Curitiba, 07 de maio 2002.

Instrucción normativa MAPA núm. 10 (2004). Secretaría de Apoyo Rural y Cooperativismo de Brasil. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento. Aprueba las definiciones y normas sobre las especificaciones y las garantías, las tolerancias, el registro, el embalaje y el etiquetado de los fertilizantes minerales destinados a la agricultura. De acuerdo con lo establecido en la Ley Orgánica 15/1999. De 06/05/2004. Recovered from: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/sanidadvegetal/legislacao>>. Curitiba.

Iranpour, R., Cox, H. H. J., Kearney, R. J. Clark, J. H., Pincince, A. B., & Daigger, G. T. (2004). Regulations for Biosolids Land Application in U.S. and European Union. *Journal of Residuals Science and Technology*, 1(4), 209-222.

Ley núm. 12.305 [Lei nº 12.305]. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Presidência da República Casa Civil Brasil. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília* (2010). Recuperado de: <<http://portal.saude.gov.br>> el 29/03/2014.

ONU (1992). Agenda 21. Capítulo 21. Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com os esgotos. In *Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD)*. Rio de Janeiro. Organización de las Naciones Unidas. Recuperado de: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global/item/681>>

Resolución CONAMA 375/06 [Resolução CONAMA 375/06], Conselho Nacional do Meio Ambiente, MMA. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília* (2006). Recovered from: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>.

Resolución SEMA 001/07 [Resolução SEMA 001/07] Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. *Diário Oficial do Estado do Paraná*, 7395. Curitiba (2007).

Resolución SEMA 021/09, [Resolução SEMA 021/09] Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. *Diário Oficial [do] Estado do Paraná*. Curitiba (2009). Recuperado de: <<http://www.documentos.dioe.pr.gov.br/dioe>>.

- Rogers, H. R., Campbell, J. A., Crathorne, B. y Dobbsthe, A. J. (1989). Occurrence of chlorobenzenes and permethrins in twelve U.K. sewage sludges. *Water Research*, 23(7), 913-921.
- Sampaio, A. (2013). Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. [Al final queremos no hacer viable el uso agrícola del lodo producido en estaciones de saneamiento de AR? Un análisis crítico de la Resolución CONAMA 375]. *Revista DAE*, 193, 16-27. Recovered from <<http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.109>>.
- SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México] (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de <http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939> el 15/08/200
- Souza, M. L. P., Ribeiro, A. N., Andreoli, C. V., Souza, L. C. P., & Bittencourt, S. (2008). Aptidão das terras do Estado do Paraná para disposição final de lodo de esgoto [Aptitud de las tierras del Estado de Paraná para la disposición final del lodo generado en saneamiento de AR]. *Revista DAE*, 177, 20-29.
- Tamanini, C. R., Motta, A. C. V., Andreoli, C. V., & Doetzer, B. H. (2008). Land reclamation recovery with the sewage sludge use. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, (51)4, 643-655.
- UNEP [United Nation Environmental Program] (2001). *Stockholm convention on persistent organic pollutants*. Recuperado de: <http://chm.pops.int/default.aspx>, el 25/02/2013.
- USEPA [United States Environmental Protection Agency] (1994). *A plain English guide to the EPA 503 part biosolids rule*. Washington: USEPA. Recuperado de: <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/biosolids/503pe_index.cfm>.
- USEPA [United States Environmental Protection Agency] (2007). *Part 503—standards for the use or disposal of sewage sludge. Electronic Code of Federal Regulations (e-CFR) - Title 40: Protection of Environment*. Recuperado de: <[http://yosemite.epa.gov/r10/water.nsf/npdes+permits/sewage+s825/\\$file/503-032007.pdf](http://yosemite.epa.gov/r10/water.nsf/npdes+permits/sewage+s825/$file/503-032007.pdf)>.
- USEPA [United States Environmental Protection Agency] (2009). *Targeted National Sewage Sludge Survey: Overview Report*. Washington: Office of Water (4301T). EPA-822-R-08-014. Recuperado de: <<http://water.epa.gov/scitech/wastetech/biosolids/tnsss-fs.cfm>>.