



# CAPÍTULO 5

## APROVECHAMIENTO

DE LODOS Y BIOSÓLIDOS



DOI: <https://doi.org/10.24267/9789585120136.5>



**SIMONE BITTENCOUR**

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](mailto:sbittencourt@sanepar.com.br)



## 5.1 USO AGRÍCOLA DEL LODO GENERADO EN LA PTAR DEL ESTADO DE PARANÁ, BRASIL

*Simone Bittencour*

Es de gran importancia ambiental que el lodo generado en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) tengan un destino adecuado, contribuyendo a la salud pública y la preservación ambiental. La incineración (Xu, Wang & Wang, 2015), el uso como biomasa para generación de energía (Koga, et al., 2007), la mezcla para fabricación de cemento (Departamento de Planejamento do Meio Ambiente. DPMA, 2011) y de materiales de construcción (Okuno, et al., 2004) la aplicación en áreas agrícolas y la disposición en rellenos, son algunos de los ejemplos de destino final, utilizados mundialmente, siendo los dos últimos frecuentes en Brasil.

El destino final del lodo en usos agrícolas es ambientalmente sostenible, al promover el reciclaje de nutrientes y ser beneficioso, tanto para el cultivo de plantas como para mejorar las características físico-químicas y biológicas del suelo. A pesar de ser una alternativa consolidada en muchos países (Priest, 2017; United State Environment Protection Agency, s.f., Le Conseil Canadien des Ministres de L'environnement, 2017; Water Uk, 2010), en Brasil está limitada a pocos estados (Sampaio, 2013). Paraná es uno de los estados donde el destino final prioritario del lodo es la agricultura.

El lodo es un material predominantemente orgánico, que contiene nutrientes como nitrógeno y fósforo, los cuales benefician al suelo y al desarrollo vegetal, aunque puede ser utilizado también en la recuperación de suelos erosionados y de áreas degradadas (Navas, Machin & Navas, 1999; Bezerra, et al., 2006), así como, fuente de nutrientes para cultivos agrícolas y forestales (Lourenço, et al., 1996; Deschamps, Favaretto, 1998; Junio, et al., 2013). Sin embargo, estos subproductos también pueden contener sustancias inorgánicas y orgánicas contaminantes, con potencial de causar impactos negativos al ambiente y a la salud de poblaciones humanas y animales, eventualmente expuestas, así como la proliferación de agentes patógenos, que deben reducirse a niveles que minimicen los riesgos para la salud humana.

En Brasil, el destino agrícola de lodo doméstico sigue la Resolución núm. 375, del 29 de agosto de 2006 del Consejo Nacional del Medio Ambiente.

Entre los procedimientos de la Resolución CONAMA 375/06, están aquellos relacionados con la concesión de licencias, la frecuencia de monitoreo del lodo, la elaboración de proyectos agronómicos, las condiciones de manejo, transporte y aplicación del material. El documento también establece criterios para cultivos y áreas agrícolas aptas para recibir el material, para restricciones en la ubicación, para la definición de la tasa de aplicación y para el monitoreo de las áreas de aplicación. Entre los requisitos mínimos de calidad del lodo, se definen límites de concentración para agentes patógenos, indicadores bacterianos y contaminantes inorgánicos. A diferencia de la mayoría de las legislaciones internacionales sobre el tema, la Resolución CONAMA 375/06 exige el monitoreo de sustancias orgánicas en el lodo, sin haber determinado los límites máximos de concentración (Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil, 2006).

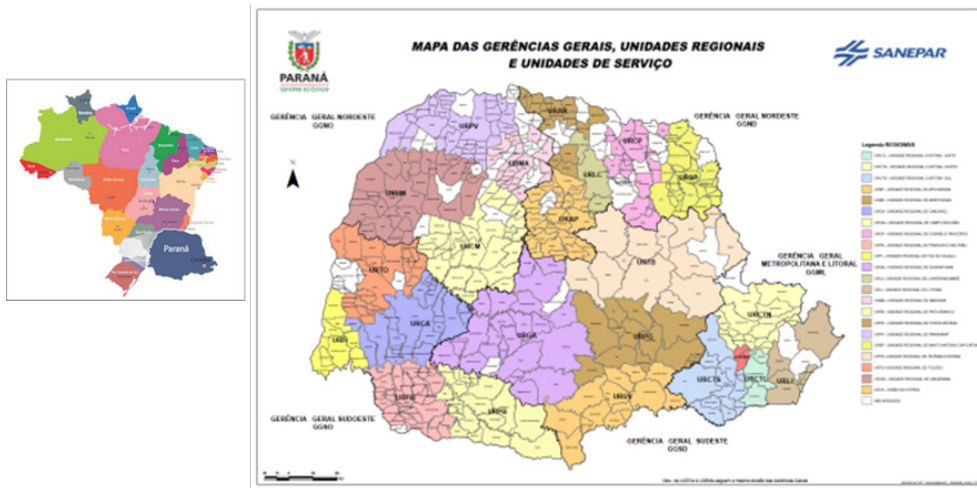
En el estado de Paraná, los procedimientos, estándares y requisitos para la utilización del lodo en áreas agrícolas son establecidos por la Resolución de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Hídricos (SEMA) 021/09 (2009). Esta resolución define la unidad de gestión de lodo (UGL) como una unidad, vinculada o no a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), con fines de reciclaje agrícola. Las UGLs son unidades responsables por la recepción, procesamiento, caracterización, transporte, destino del lodo producido por una o más plantas de tratamiento de aguas residuales sanitarias y monitoreo de los efectos ambientales, agronómicos y sanitarios de su aplicación en área agrícola (Resolución CONAMA 375/06, 2006).

Las características del lodo generado en una PTAR, sea exclusivamente doméstico o doméstico e industrial, los temas relacionados con la infraestructura y aspectos geográficos, como la ausencia de rellenos licenciados o de áreas agrícolas próximas, y los criterios legales, tienen influencia en la definición de la alternativa de destino final más adecuada. Así, esas y otras peculiaridades locales son variables y deben ser consideradas para la definición de un plan de gestión de lodo de aguas residuales (AR) que promueve la sostenibilidad del proceso.

## El sistema de alcantarillado sanitario en Paraná

El estado de Paraná (ver Figura 5.1) posee 399 municipios y la Compañía de Saneamiento del Paraná (SANEPAR) actúa con sistemas de abastecimiento de agua, en 345 y con sistemas de alcantarillado sanitario, en 174. El volumen de agua residual facturado por la empresa en el año 2015 fue de 392,5 millones  $m^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ , siendo este tratado en 234 PTAR (Companhia de Saneamento do Paraná, 2015).

**Figura 5.1** Localización del Estado de Paraná y municipios atendidos por la Compañía de Saneamiento de Paraná (SANEPAR, 2017).



Fuente: Sanepar 2017

El tratamiento de aguas residuales se realiza en reactores anaeróbicos, tipo *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) seguido o no de post-tratamiento, con excepción de la PTAR Belém, en el municipio de Curitiba, donde el tratamiento biológico del agua residual es aeróbico, en sistema de lodos activados de aireación prolongada. El post-tratamiento en las PTAR con sistemas de tratamiento que contienen reactores anaeróbicos, tipo UASB, que lo contiene es de uno de los siguientes tipos: flotación por aire disuelto; laguna de estabilización; la laguna aireada y el filtro anaeróbico. Ninguna de las PTAR, tiene decantador primario en operación.

## Gestión del uso agrícola de lodo en Paraná

En el proceso de gestión de uso agrícola, desarrollado por SANEPAR, primero se define el formato de la UGL, es decir, su ubicación y las PTAR que la componen. Para esta definición, los gestores del proceso consideran:

- la disponibilidad de área e infraestructura para el tratamiento y el almacenamiento del lodo;
- el coste de transporte de lodo bruto de las PTAR que constituirán la UGL, hasta la PTAR o lugar donde estará situada físicamente la unidad;
- el costo de análisis de laboratorio, considerando que cuanto mayor sea el número de PTAR que componen una UGL, menor será este costo;
- la distancia del área agrícola donde se pretende aplicar el lodo de AR, factor que influye en el costo de transporte de la UGL hasta el área de aplicación.

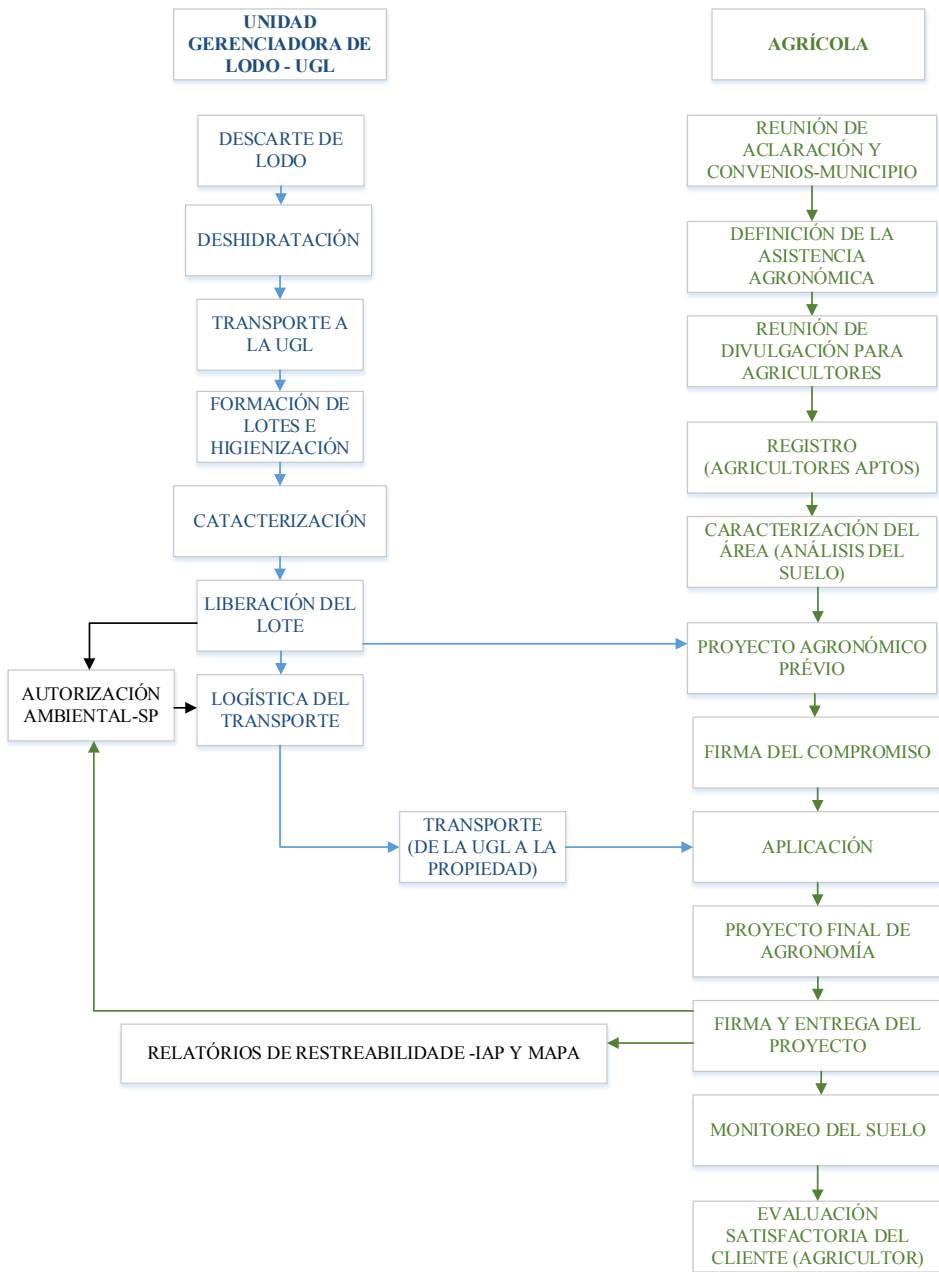
Después de definir la UGL, es elaborado, por un profesional habilitado, el plan de gerenciamiento de la unidad, necesario para el licenciamiento ambiental de la UGL (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná, 2009). El documento contiene la descripción de todo el proceso de gestión, incluyendo las características de la UGL y del lodo generado, las áreas y cultivos prioritarios para su aplicación.

Los siguientes pasos son el licenciamiento de la UGL y la solicitud al Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento (MAPA), de autorización para uso agrícola y forestal de lodo generado en las UGLs; se trata de una autorización para comercialización del material secundario, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 16 del Decreto 4.954 de 14 de enero de 2004 (Presidência da República, Casa Civil do Brasil, 2004).

De las 85 UGLs licenciadas por el órgano ambiental estatal (IAP), responsables de la gestión de lodo generado por una o más PTAR, 48 están en operación y realizan el destino agrícola.

Las actividades desarrolladas en el proceso de gestión de uso agrícola ocurren en dos esferas de acción: una en el ámbito de la UGL y otra en el ámbito agrícola (ver Figura 5.2).

**Figura 5.2** Diagrama de flujo de las etapas de gestión del proceso de uso agrícola de lodo en Paraná



Fuente: Autores

El desarrollo del proceso de uso agrícola es complejo (ver Figura 5.2) debido a que en el ámbito de la UGL las diversas etapas exigen planificación y control y, consecuentemente, son necesarios profesionales capacitados para su adecuada realización. De la misma forma, estas condiciones son primordiales para el desarrollo de las acciones en el ámbito agrícola, ya que involucran la participación, además del sector de saneamiento y del sector agrícola, de otros sectores como de salud y medio ambiente.

Para una mejor comprensión, se describen algunos aspectos importantes del proceso, desarrollado por la SANEPAR, para hacer viable el uso agrícola de los lodos provenientes de AR.

## Ámbito de la UGL

### Desprendimiento de lodo bruto neto de los reactores y deshidratación

El lodo es descargado de los reactores para mantener la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en los mismos. Cada descarte de lodo efectuado en las PTAR que componen la UGL es debidamente medido, a fin de llevar el control de la producción de lodo que arribará a la UGL.

Después del descarte se realiza la deshidratación del lodo, en centrífugas o en lechos de secado. En las PTARs de caudal por encima de  $200 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ , o en aquellas de menor caudal que no poseen un área suficiente para la implantación de lechos de secado, el secado se lleva a cabo por medio de centrífugas (en 16 PTARs). En las PTARs de menor capacidad se utilizan lechos de secado de lodo.

### Higienización, formación, caracterización y liberación del lote de lodos

Es necesario higienizar el lodo según lo descrito en el Plan de Gestión de la UGL, para atender a los requisitos y límites de calidad de la Resolución SEMA 021/09 (2009).

El proceso de higienización adoptado en todas las UGLs que opera SANEPAR, es el de Estabilización Alcalina Prolongada (EAP), el cual eleva el pH del lodo a 12 con un período posterior de curación de 30 días, reduciendo así los agentes patógenos a los niveles exigidos por la legislación (Resolución SEMA 021/09 PARANÁ, 2009). De este modo, la formación del lote de lodo proveniente de AR ocurre 30 días antes de la toma de muestras para



llevar a cabo los análisis de laboratorio, momento en el que no se añade más lodo al lote. En este proceso de higienización se aplica una dosificación de cal de entre el 30 a 50%, en relación con los sólidos totales (ST) del lodo, ocurriendo así que en los lodos más secos se utilizan dosificaciones más cercanas al 30%.

La higienización del lodo proveniente de los lechos de secado se realiza de alguna de las siguientes formas:

- a) la mezcla de la cal y lodo se efectúa inmediatamente después de cada retirada de lodo del lecho, y es almacenada en un patio hasta la formación del lote (en tandas);
- b) el lodo retirado de cada descarga del lecho se almacena hasta obtener la cantidad necesaria para la formación de un lote, una vez alcanzado el volumen necesario se lleva a cabo la mezcla de cal con el lote completo de lodo (en una sola etapa).

En el lodo que se encuentra siendo procesado en la centrífuga, la mezcla de la cal es continua, ejecutada inmediatamente después de deshidratarlo, usando un mezclador mecánico. Posteriormente, se lleva la mezcla almacenada a un patio, donde permanece hasta alcanzar las dimensiones de un lote.

En las PTAR que pertenecen a las UGLs ubicadas en otro lugar, el lodo es almacenado hasta la obtención de la cantidad que viabiliza económicamente su transporte hasta la UGL licenciada, lugar donde el lodo es higienizado. De esta manera, el proceso de higienización se realiza en la PTAR generadora.

Usualmente, en las UGLs del interior de Paraná se forma un lote de lodo de AR al año, mientras que en las UGLs de la Región Metropolitana de Curitiba (RMC) los lotes son formados mensualmente (UGL Belém) o trimestralmente (otras UGLs de la RMC).

En el proceso de higienización por EAP, es necesario que el lodo, después de aplicada la cal, permanezca, como mínimo, 60 días almacenado en patio (30 días para el período de curación y cerca de 30 días para realización de análisis de huevos viables de helmintos). En el caso de la generación de lodo de la UGL Belém, a pesar de la Resolución CONAMA no

375/06 establecer la formación con su respectiva caracterización bimestralmente, la caracterización es mensual para optimizar el uso del patio de almacenamiento y para facilitar la logística de transporte para las áreas agrícolas. El muestreo para caracterización de los lotes de lodo se efectúa de acuerdo con los procedimientos descritos en la Instrucción Normativa núm. 10 de 2004, del Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento (MAPA) (2004).

Cada lote de lodo se caracteriza de acuerdo con los parámetros establecidos por la Resolución SEMAPAR en el 21/09 (Secretaría de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná, 2009). Después que se comprueba que el lote atiende a los límites establecidos por la legislación, en cuanto a la sanidad, estabilidad y sustancias inorgánicas, por medio de la interpretación de los resultados de laboratorio, el mismo es liberado para uso agrícola.

Si el lodo presenta características inapropiadas para uso agrícola en relación con la sanidad, el mismo pasará por una nueva higienización y, en el caso de no atender a los límites de sustancias inorgánicas, la alternativa es la disposición en rellenos para residuos Clase II - no inertes (ABNT, 2004).

El transporte del lodo hasta el área de aplicación es realizado por medio de contrato de transporte con empresa transportadora, pero previamente es necesaria la solicitud de la autorización ambiental (AA) al IAP para el transporte y destino final respectivo del lote.

## Ámbito Agrícola en Brasil

### Reuniones de aclaración y divulgación, definición de la asistencia y registro de agricultores

Previamente a la entrega del lodo en áreas agrícolas en un municipio, se llevan a cabo reuniones de aclaración con personal de las entidades relacionadas con la salud, el medio ambiente y los agricultores del municipio. El objetivo es presentar el proyecto, identificar tanto a los agricultores interesados como las áreas y cultivos aptos para la aplicación, al mismo tiempo que se levanta el censo de los agricultores interesados en recibir lodo para beneficiar sus tierras.

También se define la asistencia agronómica, es decir, el acompañamiento del profesional que elaborará los proyectos agronómicos y orientará al agricultor en los criterios exigidos. La asistencia agronómica es ejecutada por un profesional propio de la SANEPAR o externo a la empresa en asociación, por ejemplo, con el Instituto Paranaense de Asistencia Técnica y Extensión Rural (Emater), cooperativas de agricultores, o con el ingeniero agrónomo u forestal responsable del área agrícola o forestal, así como, por la contratación del servicio.

## **Reconocimiento de áreas agrícolas y proyecto agronómico**

El lodo proveniente de AR está disponible para los agricultores, previamente registrados, que cultivan plantas aptas, cuyas áreas son viables para la aplicación del material (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná, 2009). La evaluación de las áreas es llevada a cabo por profesional calificado; también, se recolectan muestras de suelo y se hace una caracterización de la fertilidad para la elaboración del proyecto agronómico.

El proyecto agronómico es el documento elaborado por profesionales capacitados en la aplicación de lodo en una determinada área agrícola, observando los criterios y procedimientos de la legislación vigente (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná, 2009). En el proyecto se determina la tasa de aplicación, considerando las características agronómicas del lodo, del suelo y las necesidades nutricionales del cultivo y, cuando sea necesario, se define como complemento, la fertilización.

La determinación de la tasa de aplicación máxima de lodo (en % de ST) se ejecuta utilizando el menor valor calculado, considerando los siguientes criterios:

a) necesidad de nitrógeno (N): se calculó el suministro de N disponible en el lodo en el primer cultivo, conforme determina la legislación vigente (Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil, 2006; Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná, 2009);

b) necesidad de corrección de acidez del suelo: se calcula la necesidad de corrección de acidez del suelo para elevación de la saturación de bases (V%) al nivel exigido por el cultivo (Oleynik, et al., 2004; Poggere, et al., 2012);

c) límite de carga total acumulada de sustancias inorgánicas en el suelo: se lleva a cabo el cálculo teórico de acumulación de sustancias inorgánicas en el suelo, considerando la cantidad del elemento en el lodo (Secretaría de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná, 2009).

Previamente a la aplicación del lodo en las áreas agrícolas, los agricultores reciben orientación técnica y firman los proyectos agronómicos, donde atestiguan que son conscientes de todos los requerimientos e indicaciones para su uso y se comprometen a seguirlos adecuadamente. El lodo se suministra sin costo para el agricultor.

El proyecto agronómico es elaborado en original y dos copias, todas ellas debidamente firmadas tanto por los responsables (de la UGL e ingeniero agrónomo) como por el agricultor. Las copias de los proyectos agronómicos se entregan al IAP, anexas a la solicitud de AA para el próximo lote de lodo. Los datos de los proyectos se utilizan para los informes enviados al IAP y al MAPA.

Después de la aplicación de lodo en el área agrícola se lleva a cabo el monitoreo de las características del suelo, conforme determina la legislación. Por último, la evaluación de la satisfacción del cliente (agricultor) tiene como objetivo la mejora continua del proceso.

## **Informe de trazabilidad**

El informe de trazabilidad es el documento que contiene datos que posibilitan relacionar el origen y calidad del lodo utilizado como insumo agrícola, con los respectivos terrenos agrícolas donde fue aplicado, cultivos y destino de los productos cosechados. Este documento tiene como objetivo identificar los posibles problemas que se pudieran generar en la salud humana, animal o ambiental por el contacto con los lodos o por el consumo de los productos (Secretaría de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná, 2009).

## **Uso agrícola de lodo en Paraná entre los años 2014 y 2015**

En los años 2014 y 2015 se aplicaron 46.361 toneladas de lodo proveniente de AR, debidamente higienizados por EAP ( $20.670 t_{ST}$ ), en 3.280 ha de terrenos agrícolas del estado de Paraná (ver Tabla 5.8), siendo la tasa promedio

de aplicación de  $6,94 t_{ST} \cdot ha^{-1}$ . Las UGL de la RMC fueron responsables del 65% del total del lodo destinado, medido este en toneladas de materia seca.

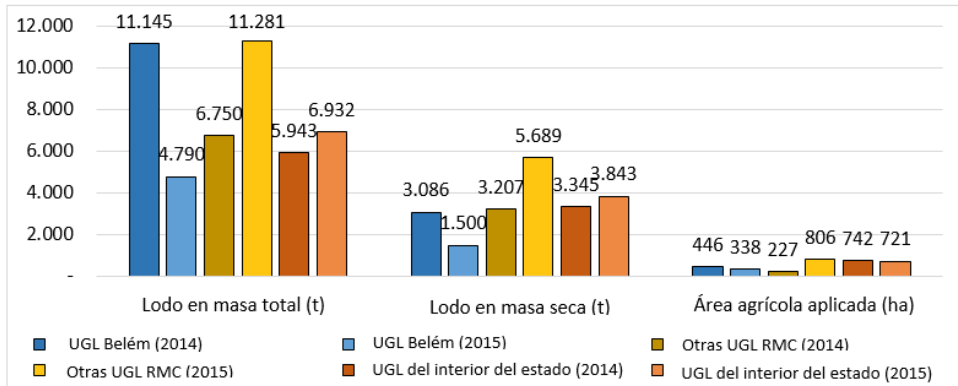
**Tabla 5.1** Destino agrícola de lodo higienizado por estabilización alcalina prolongada, por grupo de UGL, en el estado de Paraná en 2014 y 2015.

Grupo de UGL	Toneladas destinadas		Área aplicada (ha)	Tasa de aplicación media (tST ha-1)
	Masa total	Sólidos totales		
Belém (RMC) <sup>1</sup>	15.935	4.586	784	4,8
Otras RMC <sup>2</sup>	17.732	8.896	1.033	8,7
Interior <sup>2</sup>	12.694	7.188	1.463	6,1
TOTAL	46.361	20.670	3.280	6,9

NOTA: Tratamiento de deshidratación por: 1 Los activados de aireación prolongada; 2 Reactor anaeróbico tipo UASB seguido de post-tratamiento. Las cantidades de lodo en masa total y de sólidos totales (ST) se refieren a lodo con adición de cal en la higienización.

Para la UGL Belém hubo una reducción en la cantidad de lodo destinada a uso agrícola en el año 2015, al ser comparado con el año 2014, y al contrario de lo que fue observado para los demás grupos de UGLs (ver Figura 5.3). Esta reducción fue ocasionada por la imposibilidad de ejecutar el apropiado proceso de higienización del lodo, debido al uso del área de los patios de almacenamiento para la construcción de nuevas unidades estructurales en la PTAR. De esta forma, en el año 2015 una mayor cantidad de lodo de la PTAR Belém fue destinada para relleno sanitario y consecuentemente una menor cantidad de terrenos agrícolas recibieron lodo proveniente de esa UGL (ver Figura 5.3).

**Figura 5.3** Cantidad lodo de AR higienizado por estabilización alcalina prolongada y de áreas agrícolas que recibieron lodo, por el grupo de la UGL, en Paraná en 2014 y 2015.



Fuente: Autores

Los 70 lotes de lodo provenientes de AR destinados a uso agrícola producidos en 2014 y 2015, mostraron niveles de indicadores bacterianos y organismos patógenos por debajo de los límites establecidos por la Resolución SEMA 021/09 (2009), los cuales se presentan en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2** Parámetros de sanidad de los lotes de lodo, higienizados por EAP aplicados en áreas agrícolas, en Paraná en 2014 y 2015.

Parámetros de saneamiento	Límite SEMA 021/09	Media	Número de resultados de laboratorio (70)	
			Resultado por abajo de LQ	Resultado igual a cero
Coliformes termotolerantes (NMP·g <sup>-1</sup> ST <sup>-1</sup> )	< 10 <sup>3</sup>	135	57	0
Huevos de helmintos viables (g·ST <sup>-1</sup> )	< 0,25	-	59	11
<i>Salmonella</i> sp. (en 10 g <sub>ST</sub> <sup>-1</sup> )	ausencia	-	-	70
Virus (UFP o UFF·g <sup>-1</sup> ST <sup>-1</sup> )	< 0,25	-	70	-

NOTA: gST-1-por gramos de sólidos totales de lodo. LQ-límite de cuantificación de laboratorio. NMP - número más probable. UFP-unidad formadora de placa. UFF-unidad formadora de foco. Media, excluyendo los resultados iguales a cero y el LQ.

En el período de 2014 a 2015, los lotes de lodo fueron utilizados por 54 agricultores, siendo aplicados en los cultivos de fríjol, soja, maíz, trigo, nuez pecan, naranjo, árboles de caucho y eucalipto, en áreas agrícolas situadas en 26 municipios del estado. En la Tabla 5.3 se presentan los resultados de los parámetros agronómicos de los lotes de lodo proveniente de AR destinados a uso agrícola, en ese período; cabe señalar que las resoluciones CONAMA 375/06 y SEMA 021/09 no establecen límites para dichos parámetros.

**Tabla 5.3** Media y desviación estándar de los parámetros agronómicos de los lotes de lodo higienizados por estabilización alcalina prolongada, aplicados en áreas agrícolas en Paraná, en 2014 y 2015.

Parámetro agrícolas	Unidad	Total	
		Media	Desviación estándar
pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>		10,5	1,7
ST	%	52,3	18,3

Parámetro agrícolas	Unidad	Total	
		Media	Desviación estándar
SVT		34,6	9,4
C <sub>org</sub>		16,2	5,5
N <sub>kjeldahl</sub>		1,9	0,9
N <sub>amoniacal</sub>		0,3	0,4
N <sub>nitrito+nitrito</sub>		0,06	0,2
P <sub>total</sub>	(% de ST)	0,7	0,6
K <sub>total</sub>		0,1	0,09
Ca <sub>total</sub>		10,2	3,8
Mg <sub>total</sub>		4,7	3,2
S <sub>total</sub>		0,8	0,7
Na <sub>total</sub>		0,07	0,04

NOTA: Parámetros agronómicos exigidos por las resoluciones CONAMA 375/06 y SEMA 021/09.

En cuanto a las sustancias orgánicas, las resoluciones CONAMA 375/06 y SEMA 021/09 establecen que 34 contaminantes orgánicos deben ser determinados, incluso cuantitativamente, en los lodos destinados a uso agrícola (ver Tabla 5.4); sin embargo, no se establecen límites de concentración.

**Tabla 5.4** Concentraciones de sustancias orgánicas permitidas en suelos agrícolas según las resoluciones CONAMA 375/06 y SEMA 021/09

Compuestos	Concentración permitida en el suelo
	Resolución CONAMA 375/06
Benzenos Clorados	
1,2-Diclorobenzeno	0,73
1,3-Diclorobenzeno	0,39
1,4-Diclorobenzeno	0,39
1,2,3-Triclorobenzeno	0,01
1,2,4-Triclorobenzeno	0,011
1,3,5-Triclorobenzeno	0,5
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	0,16
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	0,01
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	0,0065
Ftalatos o Ésteres de Ácido Ftálico	
Di-n-butilftalato	0,7
Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	1,0
Dimetilftalato	0,25
Fenoles No Clorados	
Cresóis	0,16
Fenoles Clorados	
2,4-Diclorofenol	0,031
2,4,6-Triclorofenol	2,4
Pentaclorofenol	0,16
Hidrocarbomos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	
Benzo(a)antraceno	0,025
Benzo(a)pireno	0,052
Benzo(k)fluoranteno	0,38
Indeno(1,2,3-c.d)pireno	0,031



<b>Compuestos</b>	<b>Concentración permitida en el suelo Resolución CONAMA 375/06</b>
Naftaleno	0,12
Fenantreno	3,3
Lindano	0,001
Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)	
Aldrin	-
Dieldrin	-
Endrin	-
Clordano	-
Heptacloro	-
DDT	-
Toxafeno	-
Mirex	-
Hexaclorobenzeno	-
PCB's	-
Dioxinas y Furanos	-

Fuente: Resolución CONAMA 375/06

Cuando una sustancia orgánica se detecta en la caracterización del lodo, se debe realizar el monitoreo de esa sustancia orgánica en el suelo. Las resoluciones determinan que deben ser monitoreadas constantemente las concentraciones de la Tabla 4 en el suelo y la frecuencia del monitoreo será establecida por la entidad ambiental competente. Las resoluciones también establecen que en función de las características específicas del agua del alcantarillado sanitario y de los efluentes recibidos, las UGL podrán requerir, junto a la entidad ambiental competente, alteración de la lista de sustancias orgánicas a ser analizadas en los lodos (Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil, 2006 y Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná, 2009).

Debido a la disminución en la frecuencia del número de análisis de sustancias orgánicas autorizadas por el IAP, para las UGLs de la RMC, 42 de los 70 lotes de lodo destinados a uso agrícola, de 2014 a 2015, se caracterizaron en cuanto a las sustancias orgánicas. De estos, solo una fracción presentó sustancias orgánicas por encima del límite de cuantificación de laboratorio.

El lote de la UGL Río de las Antas, municipio de Irati (ver Tabla 5.12).

Los resultados del cálculo teórico de la concentración de las sustancias orgánicas, detectadas aplicadas en el suelo, estuvieron muy por debajo del límite permitido por las resoluciones CONAMA 375/06 y SEMA 021/09 (ver Tabla 5.5). De esta forma, no se realizó ningún estudio para verificar las causas de la presencia de estos compuestos en los lotes, además, según determina la Resolución CONAMA 375/06, se sugirió que se realizaran análisis de estos compuestos en el suelo de las áreas agrícolas que recibieron esos lodos.

**Tabla 5.5** Sustancias orgánicas detectadas en lote de lodo de AR de la UGL Río de las Antas, municipio de Irati, aplicado en áreas agrícolas en 2015.

Sustancia orgánica	Concentración (mg kg <sup>-1</sup> )		
	Lote de lodo	Aplicada en el suelo	Permitida en el suelo (CONAMA 375/06 y SEMA 021/09)
1,3-Diclorobenzeno	0,206	1,0 x 10 <sup>-3</sup>	0,39
1,4-Diclorobenzeno	0,273	1,3 x 10 <sup>-3</sup>	0,39

Sustancia orgánica	Concentración (mg kg <sup>-1</sup> )		
	Lote de lodo	Aplicada en el suelo	Permitida en el suelo (CONAMA 375/06 y SEMA 021/09)
Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	0,0125	6,2 x 10 <sup>-5</sup>	1,00
Lindano	0,00058	2,9 x 10 <sup>-6</sup>	0,001
Cresoles	0,0173	8,6 x 10 <sup>-5</sup>	0,16

NOTA: El cálculo de la cantidad de sustancia orgánica aplicada en el suelo se realizó utilizando la cantidad de 2 millones de kg de suelo por hectárea. Se adoptó una tasa media de aplicación en los proyectos agronómicos de aplicación del lote de 10 tST ha<sup>-1</sup>.

En cuanto a los parámetros inorgánicos (metales) de los lotes de lodo destinados a uso agrícola en Paraná en 2014 y 2015, todos los lotes presentaron resultados por debajo del límite de cuantificación de laboratorio para los parámetros As y Se. Se observa, por los coeficientes de variación (ver Tabla 5.6), que hubo una gran variabilidad en la concentración de metales en los lotes.

**Tabla 5.6** Media y coeficiente de variación de los parámetros inorgánicos (metales) de los lotes de lodo higienizados por estabilización alcalina prolongada, aplicados en áreas agrícolas en Paraná, en 2014 y 2015.

Parámetro inorgánico	Media (mg kg <sup>-1</sup> ST)	CV (%)	Percentil				Resolución SEMA 021/09
			75	90	95	99	
As	5,5	92	10,0	10,0	10,0	10,0	41
Ba	168,7	60	211,7	263,4	300,7	491,6	1300
Cd	3,9	1484	2,8	14,7	16,0	419,5	20
Cr	118,3	130	122,7	304,7	390,3	672,6	1000
Cu	114,5	70	120,9	186,4	249,2	446,7	1000
Hg	1,7	185	1,0	10,0	10,0	10,0	16
Mo	5,7	82	10,0	10,0	10,0	10,0	50
Ni	32,7	79	43,9	70,2	80,9	110,7	300
Pb	41,3	126	34,6	124,9	170,7	215,7	300
Se	5,6	86	10,0	10,0	10,0	10,0	100
Zn	453,6	53	521,7	736,3	948,1	1149,8	2500

NOTA: En los resultados por debajo del límite de cuantificación de laboratorio (LQ), el mismo se utilizó para el cálculo de las medias.

En la Tabla 5.6 se presenta la comparación entre los límites de la Resolución SEMA 021/09 con los porcentajes de 75, 90, 95 y 99 para los metales contenidos en los lotes evaluados, confirmándose la información de que el lodo generado presenta contenidos de sustancias inorgánicas (metales) por debajo de los límites establecidos por la Resolución SEMA 021/09 (Bittencourt, et al., 2010).

En Paraná, los lodos son generados en las PTAR cuyo afluente procede de áreas de baja actividad industrial. La aceptación de efluentes industriales en la red de alcantarillado doméstico de la empresa de saneamiento, SANEPAR, está condicionada a la atención por parte de la industria de criterios de calidad del efluente. Se definen valores límites para: DBO, DQO, pH, temperatura, aceites y grasas, sólidos sedimentables, N, P, Ag, As, Cd, Cr, Cu, Fe soluble, Hg, Ni, Pb, Se, Sn, Zn, el benceno, el cianuro, el cloroformo, el dicloroetano, el estireno, el etibenceno, el fenol, el fluoruro, el sulfato, el sulfuro, los surfactantes, el tetraciuuro de carbono, el tolueno y el xileno. Los gestores pueden establecer límites más restrictivos basados en la evaluación local de capacidad de las redes recolectoras y de la PTAR (Companhia de Saneamento do Paraná, 2013).

## Referencias

- Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT]. (2004). *NBR 10.004: Resíduos sólidos - Classificação*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Bezerra, F. B., De Oliveira, M. A. C. L., Perez, D. V., De Andrade, A. G., & Meneguelli, N. D. A. (2006). Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 41(3), 469-476. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2006000300014>
- Bittencourt, S., Andreoli, C. V., Mochida, G. A., & Serrat, B. M. (2010). Uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná. In: Coscione, A. R., Nogueira, T. A. R. y Pires, A. M. M. (Ed.). *Uso Agrícola de Lodo de Esgoto: avaliação após a Resolução n.375 do CONAMA* (pp. 281-300). Botucatu: FEPAF.
- Bittencourt, S. (2014). *Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução Conama 375/06*. (Tese Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Companhia de Saneamento do Paraná (2017). *Mapa das gerências gerais, unidades regionais e unidade de serviço. Portal de Informações: Sistema de Informações e Gestão da SANEPAR*. Curitiba: SANEPAR.

- Companhia de Saneamento do Paraná. (2015) *Relatório de Administração e de Sustentabilidade: Demonstrações Contábeis*. Curitiba: SANEPAR. Recovered from <[http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/investidores\\_rel\\_ian\\_dfp\\_itr/ian-dfp\\_itr/rel\\_Relato%C3%B3rios%20Trimestrais2015-12-31\\_0.pdf](http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/investidores_rel_ian_dfp_itr/ian-dfp_itr/rel_Relato%C3%B3rios%20Trimestrais2015-12-31_0.pdf)>
- Companhia de Saneamento do Paraná (2013). *Sistema Normativo da SANEPAR*. IT/OPE/1899 - Gestão de Efluentes Não Domésticos. Curitiba: SANEPAR.
- Departamento de Planejamento do Meio Ambiente, Divisão Administrativa de Esgoto do Yokohama. (2011). *O nível de radiação em Yokohama (Situação Geral)*. Recovered from <http://www.city.yokohama.lg.jp/kenko/houshasen/multi-language/portuguese.pdf>
- Deschamps, C., & Favaretto, N. (1998). Efeito do lodo de esgotos complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura do feijoeiro e do girassol. *Sanare*, 8(8), 33-39.
- Junio, G. R. Z., Sampaio, R. A., Nascimento, A. L., Santos, G. B., Santos, L. D. T., & Fernandes, L. A. (2013). Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, 17(7), 706-712.
- Koga, Y., Oonuki, H., Amari, T., Endo, Y., Kakurata, K., & Ose, K. (2007). Biomass Solid Fuel. Production from Sewage Sludge with Pyrolysis and Co-firing in Coal Power Plant. *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review*, 44(2). Recovered from <<https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e442/e442043.pdf>>.
- Le Conseil Canadien des Ministres de L'environnement (2017.). *Biosolids*. Recovered from <https://www.ccme.ca/en/resources/waste/biosolids.html>
- Lourenço, R. S., Anjos, A. R. M. dos, Libardi, P. L., & Medrado, M. S. M. (1996). Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão, no sistema de produção da bracinga. *Sanare*, 5(5), 90-92.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil. (4 de novembro de 2004). Instrução normativa MAPA nº 10, de 06/05/2004. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Recovered from <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/sanidadevegetal/legislacao>>
- Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil. (30 de agosto de 2006). Resolução CONAMA n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamen-

- to de esgoto sanitário e seus produtos derivados. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Recovered from <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em 25/01/2013.
- Navas, A., Machín, J., & Navas, B. (1999). Use of biosolids to restore the natural vegetation cover on degraded soils in the badlands of Zaragoza (NE Spain). *Bioresource Technology*, 69, 199-205.
- Okuno, N., Ishikawa, Y., Shimizu, A., & Yoshida, M. (2004). Utilization of sludge in building material. *Water Science and Technology*, 49(10), 225-232. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0650>
- Oleynik, J., Bragagnolo, N., Bublitz, U., & Silva, J.C.C. (1995). *Análises de solo: tabelas para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados* (3. ed.). Curitiba: EMATER-Paraná.
- Poggere, G. C., Serrat, B. M., Motta, A. C. V., Bittencourt, S., Dalpisol, M., & Andreoli, C. V. (2012). Lodos de esgoto alcalinizados em solos do Estado do Paraná: taxa de aplicação máxima anual e comparação entre métodos para recomendação agrícola. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 17(4), 429-438.
- Presidência da República. Casa Civil do Brasil. (2004). Decreto Federal nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Regulamenta a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Recovered from [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm).
- Priest, G., & Association, A. W. (2017). *The Australian and New Zealand Biosolids Partnership: Creating New Frameworks for Biosolids Management*.
- Resolución núm. 375 (2006). 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. Brasil: Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).
- 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. *Revista DAE*, 193, 16-27. Recovered from <<http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.109>>
- Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. (30 de junho de 2009). Resolução Sema n. 021, de 30 de junho de 2009. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. *Diário*

- USEPA (s.f.). *Biosolids*. United States Environment Protection Agency. Recovered from <https://www.epa.gov/biosolids>.
- Water, U.K. (January 2010). *Recycling of biosolids to agricultural land*. 3. Recovered from [http://www.nutri-bio.co.uk/doclib/1\\_1414\\_270416\\_water\\_uk\\_recycling\\_of\\_biosolids\\_to\\_agricultural\\_land\\_2010\\_final\\_briefing\\_pack\\_1\\_.pdf](http://www.nutri-bio.co.uk/doclib/1_1414_270416_water_uk_recycling_of_biosolids_to_agricultural_land_2010_final_briefing_pack_1_.pdf)
- Xu, H., Wang, C., & Wang, K. (2015). Full-Scale Plant Study of the Innovative Spray-Drying-Based Sludge Incineration (SDSI) Process: Behavior of Heavy Metals. *Energy Fuels*, 29(6), 3908–3912.

