

Comparación de la reglamentación para el manejo de lodos provenientes de agua residual en Argentina, Chile y Colombia

Comparison of the regulations for the management of sludge from waste water in Argentina, Chile and Colombia

Regulamentos de comparação para a manipulação de lamas de águas residuais na Argentina, Chile e Colômbia

Fabián Andrés Ospina López¹, Alejandra Rodríguez González² & Juan Manuel González Guzmán³

¹Estudiante Programa de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá – Colombia. ²Bióloga. ³Ingeniero civil, Magister en Economía.

^{1,2,3}Grupo PIT, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá – Colombia

^{1,2,3}grupopit.ambiental@unimilitar.edu.co.

Producto Asociado al Proyecto de Investigación INV ING 2127 de la Vicerrectoría de Investigaciones de la UMNG

Resumen.

El presente artículo presenta resultados de una revisión sobre el manejo y disposición final de lodos generados en las plantas de tratamiento de agua residual, los cuales deben ser sometidos a diferentes tratamientos para ser transformados en biosólidos y lograr determinar su uso sujeto a la clasificación que se presenta en Argentina, Chile y Colombia. Se realizó un análisis comparativo de los diferentes parámetros que se tienen en cuenta en los reglamentos de cada uno de estos países, evidenciando los cambios entre ellos. Fue posible identificar que Chile no presenta valores máximos de aplicación como los otros países, pero presenta un plan de aplicación. Respecto a Argentina y Colombia se percibe que varios de sus criterios presentan unos valores con una gran diferencia uno respecto al otro, además la normatividad argentina no tiene en cuenta los valores de Selenio en biosólidos, mientras que el reglamento colombiano maneja la normatividad US EPA.

Palabras clave: biosólidos, normatividad, metales pesados, impacto ambiental.

Abstract

This article presents results of a review on the handling and final disposition of sludge generated in the wastewater treatment plants, which should be subjected to different treatments to be transformed into biosolids and achieve determine its use subject to the classification that is presented in Argentina, Chile and Colombia. A comparative analysis was made of the different parameters that are taken into account in the regulations of each of these countries, demonstrating the changes between them. It was possible to identify that Chile does not present maximum values of application as the other countries, but presents a plan of implementation. With regard to Argentina and Colombia is perceived that several of its criteria presented some values with a big difference with one another, in addition the Argentina

normativity does not take into account the values of selenium in biosolids, whereas the regulation of Colombia manages the normativity US EPA.

Key-words: biosolids, normativity, heavy metals, environmental impact

Resumo.

Neste artigo são apresentados os resultados de uma revisão sobre manejo e disposição final dos lodos gerados nas plantas de tratamento de água residual, que devem passar por diferentes tratamentos para ser transformados em biosólidos e conseguir determinar seu uso segundo a classificação que apresentam Argentina, Chile e

Colômbia. Realizou-se uma análise comparativa dos diferentes parâmetros que são considerados nos regulamentos de cada país, mostrando mudanças entre elas. Foi possível identificar que o Chile não apresenta valores máximos de aplicação como passa sim nos outros países, no entanto Chile tem um planejamento de aplicação. Argentina e Colômbia mostram valores discrepantes entre os critérios, além disso, a normativa Argentina não considera valores de selênio nos biosólidos enquanto a normativa colombiana maneja a normativa da US EPA.

Palavras-chave: biosólidos, normativas, aproveitamento.

Introducción

En la actualidad el mundo vive una problemática ambiental, una de sus complicaciones es el uso y disposición final de los biosólidos de las plantas de tratamiento de agua residual -PTAR-, y una búsqueda de formas adecuadas para su disposición final. Debido a esto se generan unas políticas y reglamentos que logran determinar una caracterización que permite especificar los usos adecuados para la distribución final de los biosólidos y disminuir el impacto ambiental negativo que estos pueden ocasionar (Gutiérrez, Mahamud & Sastre 1996; Cazurra, 1994; Rich, 1982).

En el caso de Estados Unidos, durante los últimos 40 años casi se ha triplicado el número de PTAR, existen aproximadamente 15.000 plantas, siendo más numerosas las que tratan menos de 3.800m³ al día, correspondiendo al 81% (Metcalf & Eddy, 1996). En relación a Latinoamérica, estudios de Reynolds (2002) informan que sólo el 10% de las aguas servidas recolectadas se les aplica algún tipo de tratamiento sin cumplir las normas o los procedimientos para alcanzar un sistema eficiente. En el caso de México, solo un 5% de las plantas de tratamiento operan de manera satisfactoria.

Las PTAR son instalaciones que tienen como objetivo remover los contaminantes presentes en las

aguas residuales, tanto domiciliarias como industriales, con el fin de hacerlas aptas para otros usos en actividades de la vida cotidiana con excepción del consumo humano, es decir, no se puede ingerir o emplear para el aseo personal para evitar riesgos en la salud humana y daños al ambiente, a menos que sean sometidas a un proceso adicional que les permita cumplir con las regulaciones para su reusó (Metcalf & Eddy, 1996). Durante el proceso de las PTAR se genera un subproducto llamado lodo. Los lodos sanitarios corresponden a sólidos orgánicos sedimentables que pueden ser depositados en rellenos sanitarios. (Vélez, 2007; Whitehouse, 2000). El tratamiento de este producto se hace con el fin de convertirlo en biosólido.

Debido a dicha problemática que se genera a nivel mundial por la generación de lodos a través de las PTAR y su tratamiento para ser transformados en biosólidos los países crearon su reglamento para el adecuado manejo de este producto. Debido a su composición puede ser utilizado en diferentes actividades, una de ellas, como acondicionador físico del suelo mejorando características como la porosidad, la infiltración y el aumento de la resistencia a la erosión (Cortez, 2003; Kuchenrither, 1992).

Esta investigación se llevó a cabo bajo tres reglamentos de manejo y clasificación de lodos obtenidos de una PTAR en Argentina, Chile y Colombia.

Metodología

La búsqueda de información se llevó a cabo usando bases de datos, artículos, referencias bibliográficas e internet se pretende enmarcar y examinar la normativa existente sobre el manejo de lodos generados en una PTAR, para los países de Argentina, Chile y Colombia. Una vez adquirida la información fue analizada para así mismo llegar a la construcción de un documento que proporciona y permite identificar las diferencias que se presentan en los reglamentos de los países mencionados.

Biosólidos

De acuerdo al informe del Banco Mundial (2012), hace catorce años había 2,9 billones de residentes urbanos cuya generación de residuos sólidos municipales -RSM- ascendía a 0,64 kg diarios (0,68 billones de t). Este reporte estimó que al 2012 la suma de residentes urbanos asciende a 3 billones y la generación de RSM *per cápita* diaria asciende a 1,2 kg; es decir, 1,3 billones t anuales. Para el año 2025 se espera que los valores alcancen los 4,3 billones de residentes urbanos y una generación *per cápita* diaria de 1,42 kg (2,2 billones t/año). De esta generación de residuos a nivel mundial, un 46% corresponde a la fracción orgánica (Banco Mundial, 2012).

Teniendo en cuenta esta problemática, se han generado alternativas para el tratamiento de residuos, incluyendo los de PTAR, ya que el tratamiento del agua residual genera como consecuencia la formación de lodos residuales, subproductos que deben someterse a un tratamiento adicional e implican un costo extra para el funcionamiento de la planta. (Bustamante, 1999; Crohn, 1995).

El proceso de funcionamiento para el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas puede dividirse en cuatro etapas:

1. El pre-tratamiento es el proceso en que se produce la eliminación de sólidos gruesos de gran tamaño presentes en las aguas residuales, cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares (Alcota, 2002; Sastre, 1995). La flotación se usa para eliminar sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas con densidades cercanas al agua -grasas y aceites-; y el desarenado para eliminar materia en suspensión gruesa (Metcalf & Eddy, 1985).
2. Tratamiento Primario: Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO (Alcota, 2002; Novotny & Olem, 1994).
3. Tratamiento Secundario: Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos, generando así lodos residuales que deben ser tratados por las PTAR (Lester 1987a).
4. Tratamiento Terciario: Es aquel que permite remover sustancias refractarias a los procesos biológicos, como los metales pesados, fósforo, nitrógeno, DQO soluble, entre otros (Metcalf & Eddy, 1985). Para el tratamiento de lodos se usa la aplicación de técnicas para su estabilización como: pasteurización, digestión anaerobia y digestión aerobia. Para convertirlos en biosólidos (Bustamante, 1999; Crohn, 1995).

Estados Unidos ha desarrollado la normativa 40 CFR parte 503 para el manejo de biosólidos, teniendo en cuenta que la primera normativa relacionada con esta temática, se ha usado como referencia para otros países. La norma abarca, la definición, clasificación, manejo, reutilización y eliminación de biosólidos. Los biosólidos se definen en esta norma como residuos sólidos, semisólidos o líquidos

generados durante el tratamiento de aguas servidas domiciliarias, incluyen los sólidos removidos durante el tratamiento primario, secundario o avanzado del proceso de tratamiento de aguas servidas y cualquier material derivado de los lodos, excepto las gravillas o cenizas generadas durante el proceso de incineración” (EPA, 1994; Davis, 1994).

La US EPA clasifica los biosólidos teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- **Biosólidos clase A:** Se consideran solido clase A aquellos biosólidos que tengan una densidad de coliformes fecales menor a 1.000NMP por gramo de solidos totales, o tener una densidad de *salmonella* sp. Menor a 3NMP en 4 g de solidos totales, tener un contenido de huevos de helmin-tos viable menor a 1 por 4 g de solidos totales. (EPA, 1994)
- **Biosólidos clase B:** Se consideran solido clase B aquellos biosólidos que contengan una densidad de coliformes fecales inferior a 2×10^6 NMP por g de sólidos totales o 2×10^6 UFC por g de sólidos totales. Este tipo de biosólidos deberá recibir tratamiento y será el que mayores restricciones presente para uso agrícola. (EPA, 1994)

En las alternativas de uso según la categoría de los biosólidos se tienen las siguientes:

Categoría A.

- En zonas verdes tales como cementerios, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos.
- Como producto para uso en áreas privadas tales como jardines, antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización.
- En agricultura.
- Los mismos usos de la Categoría B (EPA, 1994).

Categoría B.

- En agricultura, se aplicará al suelo.

- En plantaciones forestales.
- En la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados.
- 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.
- Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración. Absorción y adsorción.
- Como insumo en la fabricación de materiales de construcción.
- En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial. Secundaria o terciaria.
- En la operación de rellenos sanitarios tomo: cobertura diaria, cobertura final de cierre y de clausura de plataformas y en actividades de revegetalización y paisajismo.
- Actividades de revegetalización y paisajismo de escombreras. En procesos de valorización energética (EPA, 1994).

Resultados y discusión

En Argentina, Chile y Colombia, países ubicados en América del Sur (Figura 1), el reglamento para el manejo de los lodos generados por las plantas de tratamiento de agua residual se realiza con el objetivo de regular el manejo sanitario de los lodos de tal modo que se pueda proteger la salud de la población y prevenir el deterioro de los recursos naturales (Resolución 97, 2001), (Decreto Supremo N° 004, 2009), (Decreto N° 1287,2014).

La ley N° 24.051, la cual aprueba la resolución 97 “Reglamento para el Manejo Sustentable de

Barros Generados en Plantas de Tratamiento de Efluentes Líquidos” en Argentina. En su contenido se puede encontrar: Caracterización, Categorización, Formas de Uso, Disposición final, Restricciones y control de calidad.

Por otra parte, las disposiciones de la ley N° 19.300 que aprueba el proyecto definitivo de reglamento estipulado bajo el Decreto Supremo N° 004 “Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Aguas servidas” para Chile. Se hallan en su contenido los siguientes aspectos: Categorización, Clasificación, Formas de Uso, Disposición final, Restricciones y control de calidad.

Para Colombia la Ley N° 142 la cual establece el Decreto N° 1287 “Criterios Para el Uso de los Biosólidos Generados en Plantas de Tratamiento de Agua Residual”. Este decreto incluye caracterización, formas de uso, disposición final, restricciones y control de calidad.

Las normas de cada país comenzaron a regir desde, 22 de noviembre del 2001, 30 de enero del 2009 y 10 de julio del 2014 respectivamente.



Figura 1 Ubicación Geográfica

En Argentina se tiene como definición de biosólidos lo siguiente “Productos originados en la transformación de barros orgánicos a través de tratamientos destinados a reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores y a otorgarles aptitud para su utilización agrícola y para la recuperación de suelos y sitios degradados” (Resolución 97, 2001).

Para el Decreto de Chile no se maneja el termino biosólido pero se define el lodo como la “basura, desecho o residuo semisólido que hayan sido generados en plantas de tratamientos de aguas” (Supremo N° 004, 2009; Rámila, Sebastián & Rojas, 2008).

Finalmente, los biosólidos son definidos por el Decreto 1287 de Colombia como el “Producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso”.

Según los decretos establecidos en los tres países se deben tener en cuenta los valores máximos y los valores máximos permisibles de Químicos-Metales en los biosólidos, estos varían según el reglamento de cada país, en la Tabla 1 se pueden apreciar los valores, con el fin de evitar efectos nocivos en el área donde sean usados.

Tabla 1. Valores Máximos Permisibles de Metales en los Biosólidos

Variable	unidad de medida	ARGENTINA ¹	CHILE ²		COLOMBIA ³		US EPA ⁴
		Biosólidos valores Máximos permisibles	Categoría Biosólidos valores Máximos permisibles		Categoría Biosólidos valores Máximos permisibles		Biosólidos valores Máximos permisibles
			A	B	A	B	
Arsénico (As)	mg/kg de biosólido (base seca)	75	20,0	40,0	20,0	40,0	41,0
Cadmio (Cd)		20-40	8,0	40,0	8,0	40,0	39,0
Cobre (Cu)		1000-1750	1.000,0	1.200,0	1.000,0	1.750,0	1.500,0
Cromo (Cr)		1000-1500	-	-	1.000,0	1.500,0	1.200,0
Mercurio (Hg)		16-25	10,0	20,0	10,0	20,0	17,0
Molibdeno (Mb)		-	-	-	18,0	75,0	18,0
Níquel (Ni)		300-400	80,0	420,0	80,0	420,0	420,0
Plomo (Pb)		750-1200	300,0	400,0	300,0	400,0	300,0
Selenio (Se)		-	50,0	100,0	36,0	100,0	36,0
Zinc (Zn)		2500-4000	2.000,0	2.800,0	2.000,0	2.800,0	2.800,0

¹Resolucion 97

²Decreto Supremo 004

³Decreto 1287

⁴40CFR parte 503

En la Tabla 1 se pueden observar los valores máximos permisibles de metales pesados que puede contener un biosólido para ser empleado en las diferentes alternativas de uso; se pueden evidenciar similitudes en los rangos de valores para Chile y Colombia en tales como: Arsénico, Cadmio, Mercurio, Níquel, Selenio y Zinc. Se observa que en algunos valores máximos permisibles en Argentina son más elevados estos son: Arsénico y Plomo. También se evidencia que en el caso de Argentina y Chile no se tienen en cuenta algunos metales respecto a la US EPA, la cual toma como referencia estos metales son: Cromo, Molibdeno y Selenio.

En Argentina, Chile y Colombia existen restricciones en el uso del suelo después de ser aplicado el biosólido, como las siguientes:

- No se podrán aplicar biosólidos en cultivos hortícolas y frutícolas durante el período de vegetación (formación de tallos y hojas), con la excepción de los cultivos de árboles frutales.
- 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, sólo 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, sólo se permitirá cosechar después de tres (3) años, si los biosólidos

permanecieron sobre el suelo menos de cuatro (4) meses, antes de su incorporación a.1 terreno.

- Forraje para ganado y cultivos agroindustriales no destinados a consumo humano directo, deberán considerar que la última aplicación de biosólidos al suelo debe hacerse 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.

En las Normativas dadas por los tres países se presentan limitantes en las cuales no se debe aplicar biosólido de ninguna categoría para la protección del medio ambiente y de la población, como se muestra a continuación:

- 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) m 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 de cien (100) m.
- En zonas aledañas a fuentes superficiales de captación de agua para consumo humano o animal, en una franja mínima de treinta (30) m medidos en paralelas 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) m a la redonda, medidos a partir de su periferia.

- En la zonas de rondas.
- Suelos con alto riesgo de inundación.
- Clase B, a menos de trescientos (300) m de distancia de áreas residenciales urbanas, hospitales, locales de expendio de alimentos, escuelas, y parques. Valores inferiores deberán ser soportados en estudios de impacto ante las Autoridades Ambientales Competentes.
- En suelo rural a menos de 100 m de viviendas aisladas.
- En terrenos agrícolas en tasas mayores a la tasa agronómica, considerando la clase de cultivos en que sean empleados.
- En suelos donde se encuentren especies de fauna y flora amenazados para la aplicación de biosólidos de categoría B.

En el caso de Argentina y Chile se deben tener en cuenta otras características, que en el reglamento de Colombia no se hace referencia, las cuales son:

- El biosólido no debe presentar un pH inferior a 5.
- En los sitios que va a ser aplicado no debe existir una Pendiente superior a 15%. En los casos de suelos con pendiente superior a 15%, y con presencia de cobertura vegetal arbustivos o arbóreos, se podrá realizar aplicación localizada, sistema que deberá ser descrito en el Plan de Aplicación.

Dado que se pueden presentar inconvenientes en la aplicación de biosólidos al suelo, las normativas de Argentina y Colombia contemplan la tasa máxima anual de aplicación como se observa en la Tabla 2, en comparación con los límites establecidos por la normativa de US EPA ya que posee mayor investigación sobre el tema de biosólidos y se encuentra en rigor desde 1994.

Tabla 2. Tasa Máxima Anual de Aplicación

	ARGENTINA ¹	COLOMBIA ²	US EPA ³
PARAMETROS	TMAA kg/ha-año	TMAA kg/ha-año	TMAA kg/ha-año
Arsénico (As)	2,0	2,0	2,0
Cadmio (Cd)	0,15	1,9	1,9
Cobre (Cu)	12,0	75,0	75,0
Cromo (Cr)	3,0	150,0	150,0
Mercurio (Hg)	0,1	0,85	0,85
Níquel (Ni)	3,0	21,0	21,0
Plomo (Pb)	15,0	15,0	15,0
Selenio (Se)	-	5,0	5,0
Zinc (Zn)	30,0	140,0	140,0

¹Resolucion 97

²Decreto 1287

³40CFR parte 503

En Chile, aunque no se presentan valores máximos de aplicación se tienen procedimientos para aplicación en suelo, donde se contempla un plan de aplicación de biosólidos el cual no debe ser superior a un año y debe ser presentado un mes antes del inicio de su aplicación, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Pendiente (expresada como porcentaje).
- Profundidad efectiva del suelo.
- pH.
- Conductividad eléctrica.
- Porcentaje de arena.
- Materia orgánica.
- Contenido total de los metales pesados en el suelo receptor.

- Cantidad de biosólidos a aplicar anualmente.
- Clasificación de los biosólidos
- Frecuencia de aplicación.
- Época de aplicación.

Asimismo, en la Tabla 3 se encuentran los valores límites de metales en Colombia comparados con la normativa tomada como referencia -US EPA-, dado que en los reglamentos de Argentina y Chile no se evidencia la tasa acumulativa de aplicación. Los suelos no deben exceder los valores límites de bioacumulación de metales que se encuentra en la Tabla 3, lo cuales se presentan por el uso de biosólidos para evitar procesos de contaminación.

Tabla 3. Tasa Acumulativa de Aplicación

	COLOMBIA ¹	US EPA ²
PARAMETROS	TASA ACUMULATIVA DE APLICACIÓN EN EL SUELO kg/ha	TASA ACUMULATIVA DE APLICACIÓN EN EL SUELO kg/ha
Arsénico (As)	41,0	41,0
Cadmio (Cd)	39,0	39,0
Cobre (Cu)	1.500,0	1.500,0
Cromo (Cr)	3.000,0	3.000,0
Mercurio (Hg)	17,0	17,0
Níquel (Ni)	420,0	420,0
Plomo (Pb)	300,0	300,0
Selenio (Se)	36,0	100,0
Zinc (Zn)	2.800,0	2.800,0

¹Decreto 1287²40CFR parte 503

En la normativa dada por Argentina, Chile y Colombia se establece el seguimiento de los biosólidos mediante un análisis de su composición siguiendo

la frecuencia que se muestra en la Tabla 4. De acuerdo con la producción de biosólidos generados al año, dicha frecuencia varía.

Tabla 4. Frecuencia de Análisis

Cantidad de biosólidos generados (t/año)	Periodicidad
Menor que 300	Cada doce (12) meses
Igual o mayor que 300 y menor que 1.500	Cada tres (3) meses
Igual o mayor que 1.500 y menor que 15.000	Cada dos (2) meses
Igual o mayor que 15.000	Cada mes

Conclusiones

Se observa que en algunos metales los valores máximos permisibles para Argentina son más elevados, se debe tener mucho cuidado en estos aspectos dado que pueden generar problemas ambientales y de salubridad para la población puesto que estos biosólidos son utilizados en la agricultura.

También se encontró que el reglamento colombiano, a diferencia de los reglamentos de los otros dos países, no tiene en cuenta porcentajes de: pendiente y pH del suelo para la aplicación de los biosólidos en los terrenos que se desean mejorar su composición.

Según las normas establecidas de los países mencionados en este artículo, fue posible identificar que Chile no presenta valores máximos de aplicación como los otros países, pero presenta un plan de aplicación.

Respecto a Argentina y Colombia se percibe que varios de sus criterios presentan unos valores con una gran diferencia uno respecto al otro, además la normatividad argentina no tiene en cuenta los valores de Selenio en biosólidos, mientras que el reglamento colombiano maneja los mismos valores y los mismos parámetros que la normativa usada como referencia, US EPA.

En la tasa acumulativa de aplicación se evidencia que no se encuentran valores de dicho parámetro en las normativas de Argentina y Chile, por su parte, Colombia presenta los mismos valores a los de la normativa usada como referencia, con excepción del parámetro de selenio.

Con respecto a las frecuencias de análisis, a diferencia de los demás parámetros es un punto en común en todas las normativas relacionadas, esto, debido a que la composición del biosólido varía de acuerdo al agua residual que ingrese a la planta y además a la precipitación de la zona.

Literatura citada

1. Alcota, C. (2002). Acondicionamiento de Biosólidos Mediante Compostaje. (tesis de pregrado) Ingeniería Civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 175p.
2. Bustamante, M. (1999). Diseño conceptual de la disposición de lodos y biosólidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas. (tesis de pregrado) ingeniería civil, Universidad de Chile.
3. Cazorra, T. (1994). Programa de saneamiento de las aguas residuales urbanas de cataluña: línea de fangos, jornadas técnicas: biosólidos y aguas depuradas como recursos. R. Mujeriego y L. Sala (Eds.). pp. 31-43. Sant Feliu de Guíols, Gerona.
4. Cortez, E. (2003). Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región metropolitana. (tesis de pregrado) Ingeniería Civil. Universidad de Chile.
5. Crohn, D.M. (1995). Sustainability of sewage sludge land application to northern hardwood forests. *Ecological Applications*. 5(1), 53-62.
6. Dáguer, G., & Paolo, G. (2000). Gestión de biosólidos en Colombia. ACODAL.
7. Dégremont (1980) Manual técnico del agua, Bilbao. Páginas 105-473, 749-781.
8. Davis, R.D. (1994). Planning the best strategy for sludge treatment and disposal operations. *Water Science and Technology*. 30(8), 149-158.
9. Decreto N° 1287, Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, Bogotá D.C, Colombia, 10 de julio 2014.
10. Decreto Supremo N° 004, Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de aguas servidas, Santiago, Chile, 30 de enero 2009.
11. EPA (1994). A Plain English Guide to the USEPA, Part 503 Biosolids Rule.
12. Gutiérrez A., Mahamud M. & Sastre H. (1996). Biosólidos Generados En La Depuración De Aguas (I): PlanTEAMIENTO del problema. *Revista Ingeniería de Agua*, Vol. 3 Núm. 2. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de Oviedo.
13. Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. *Urban development series knowledge papers*, 15, 1-98.
14. Kuchenrither, R.D. (1992). The objectives of sludge treatment, sludge 2000 Conference, Paper 6, Cambridge.
15. Lester N. (1987a). Heavy metals in wastewater and sludge treatment processes. Vol. 1. Sources, analysis and legislation. CRC Press, Florida.

16. Metcalf & Eddy, Inc. (1985). Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales, 2da Edición. Editorial Labor, S.A. Barcelona. 969p.
17. Metcalf & Eddy, Inc. 1996. Wastewater Engineering. 4ª ed. Volumen 1. McGraw-Hill. Estados Unidos 752 pp.
18. Novotny, V. & Olem, H. (1994) Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution. Van Nostrand Reinhold, New York. 1054 pp.
19. Rámila, G., Sebastián, I. & Rojas, B. (2008). Alternativas de uso y disposición de Biosólidos y su impacto en las tarifas de agua. Seminario Ingeniero Comercial Mención Administración. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Economía y Negocios, 9-28.
20. Resolución N° 97, Reglamento para el manejo sustentable de barros generados en plantas de tratamiento de efluentes líquidos, Buenos Aires, Argentina, 22 de noviembre del 2001.
21. Reynolds, K. A. (2001). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. Latinoamérica, 48-49.
22. Rich, L.G. (1982). A cost-effective system for the aerobic stabilization and disposal of waste activated sludge solids. *Water Research*. 16, 535-542.
23. Sastre, H. (1995). Biosólidos: problemática, tratamientos, alternativas de uso y tendencias futuras. Conferencia, II jornadas sobre medio ambiente en Asturias, Jorma95, Oviedo.
24. Toro F. (2005). Areas potenciales para la aplicación de biosólidos en plantaciones forestales de la vi región de Chile. departamento de manejo de recursos forestales, escuela de ciencias forestales, facultad de ciencias forestales - Universidad De Chile.
25. Vélez Z. J. (2007). Los biosólidos: ¿una solución o un problema? Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
26. Whitehouse, L., Wang, H., & Tomer, M. (2000). Guidelines for utilisation of sewage effluent on land. Part two: issues for design and management. Rotorua, New Zealand.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: septiembre 06 de 2016

Aceptado: octubre 29 de 2016

