



LODOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS OPERADAS POR OSE. CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN

Ing. Esteban Pérez Rocamora (*)

CSI Ingenieros SA. Ingeniero Civil Perfil Hidráulica Ambiental, Egresado de la Facultad de Ingeniería – UDELAR. Desde su egreso en 2004 ha desarrollado trabajos de consultoría vinculados en Tratamiento de Aguas y Efluentes Domésticos e Industriales.

Ing. Quim. Gabriela Larrañaga

CSI Ingenieros SA.

Ing. Santina Caro

Gerencia de Gestión Ambiental. Obras Sanitarias del Estado (OSE)

TEMA: Residuos sólidos: urbanos, industriales y peligrosos; Recolección, disposición final, reciclaje. Biosólidos y su gestión.

CUENCA: N/C

ODS: Agua Limpia y Saneamiento



Dirección del autor principal (*): Soriano 1180, Montevideo, CP 11100 – Uruguay Tel.: (+598) 2902 1066
Fax: (+598) 2901 9058. e-mail: eperez@csi-ing.com

RESUMEN

En el marco del desarrollo del Plan Estratégico para la gestión de lodos de OSE se realizó una caracterización y estimación de los lodos generados en el proceso de tratamiento de aguas residuales, tomando como año base 2015. OSE cuenta con 52 servicios de saneamiento en operación en diferentes localidades del interior del país. Todos los sistemas cuentan con servicio de recolección, tratamiento (en diferentes grados) y disposición final de efluentes domésticos, comerciales y en algunos casos de efluentes de origen industrial. La caracterización se realizó en base a las categorías que define el Decreto 182/13 (normativa nacional que regula la gestión de residuos sólidos industriales y asimilados e incluye lodos generados en tratamiento de efluentes líquidos). La generación se estimó a partir de tasas de lodo producido recomendados por bibliografía y datos de Censo Nacionales, comparando con los datos registrados en la operación de los sistemas. Para la proyección de generación se consideró un horizonte 30 años, en base a las tasas de crecimiento de la población estimadas por INE 1996-2025. Con los resultados obtenidos se tiene una visión global a nivel país de los lodos generados en el tratamiento de efluentes domésticos, herramienta con la cual se apoyarán las estrategias para la elaboración del Plan de gestión.

Palabras Clave: Efluentes domésticos, gestión, lodos, Uruguay

INTRODUCCION

En el marco del desarrollo del Plan Estratégico para la gestión de lodos de OSE se realizó un análisis de las cantidades y características de los lodos generados en el proceso de tratamiento de aguas residuales. OSE cuenta con 52 servicios de saneamiento en operación en diferentes localidades del interior del país. Todos los sistemas cuentan con servicio de recolección, tratamiento (en diferentes grados) y disposición final de efluentes domésticos, comerciales y en algunos casos de efluentes de origen industrial. Desde el año 2000 a la fecha, se ha realizado una fuerte inversión en la construcción de plantas de tratamiento en diferentes capitales departamentales y áreas con media a alta densidad de población. Los sistemas que cuentan con planta de tratamiento son un 44% del total, donde la mitad de este porcentaje ha sido ejecutado en los últimos 15 años, y para los cuales se ha contemplado la extracción de lodos y su tratamiento por diferentes procesos (espesamiento, digestión, deshidratación).

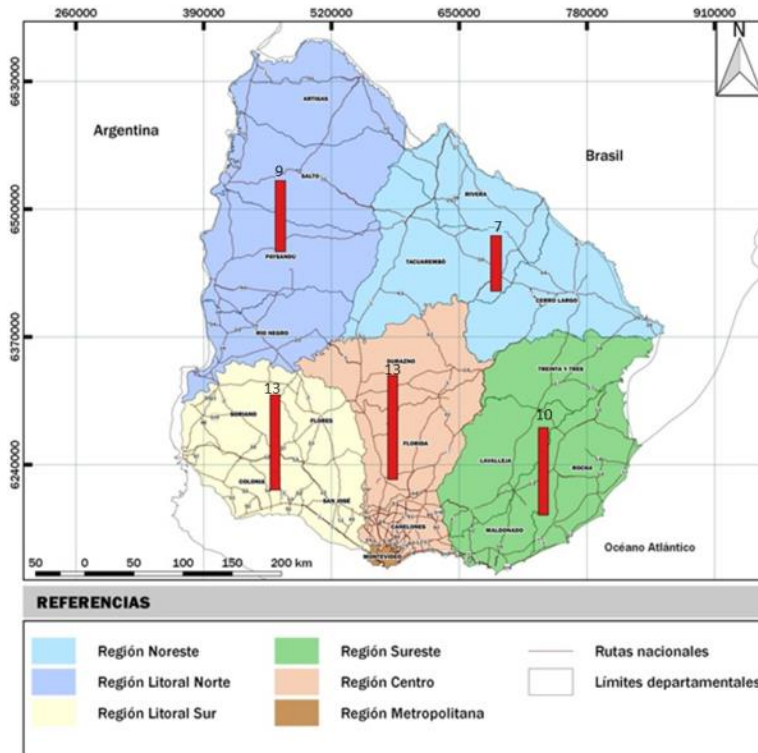


Figura 1 Cantidad de servicios de saneamiento operativos por región

MARCO NORMATIVO NACIONAL

NORMATIVA APROBADA

No existe en el país una herramienta jurídica específica para la gestión integral de los lodos provenientes de la operación de sistemas de saneamiento (en sentido amplio), como sí sucede en otros países, dada la especificidad de la calidad del lodo de dicha actividad.

En Uruguay el Decreto 182/013, que regula la gestión de residuos sólidos industriales y asimilados, es el principal instrumento vigente en la materia. Establece el marco para la gestión ambientalmente adecuada de residuos sólidos, considerando todos los aspectos de la gestión integral: generación, clasificación, almacenamiento, transporte, reciclado, valorización, tratamiento y disposición final.

El artículo 4° (Actividades comprendidas) define el alcance de la norma, y lo hace para los residuos de determinadas actividades; en forma expresa cita los provenientes de la prestación del servicio de potabilización o suministro de agua potable y los del tratamiento de efluentes líquidos.

Establece criterios de jerarquización en la gestión, priorizando la minimización de la generación mediante la implementación de mejoras tecnológicas o en los procesos productivos y luego las operaciones de valorización de residuos (reúso, reciclado, valorización); siendo las alternativas de tratamiento y disposición final opciones "de última instancia". El decreto define dos categorías de residuos (categorías I y II) de acuerdo a las características de peligrosidad del residuo (inflamabilidad, corrosividad y reactividad), al peligro para la salud y el ambiente de las sustancias químicas que lo componen, al peligro vinculado a la facilidad de liberar contaminantes al ambiente medido a partir del test de lixiviación, y al peligro relacionado con la presencia o potencial presencia de agentes patógenos y no convencionales en el residuo, que puedan poner en riesgo a la salud de la población o la sanidad animal o vegetal. Para cada categoría define pautas de gestión, y regula las responsabilidades de los actores intervinientes en las distintas fases de la gestión. Considera al generador responsable de la adecuada gestión de los residuos en todas sus etapas (en este caso OSE), pudiendo ejecutar las diferentes operaciones de la gestión integral por el propio generador o tercerizar este servicio, siempre que cuenten con las autorizaciones y habilitaciones correspondientes. Se enumeran, solo a modo de definición, sin fijar condiciones ni reglamentar requisitos, las diferentes alternativas posibles de destinos final de los



residuos en conformidad con los criterios rectores del decreto, que van desde la incineración, el uso como combustible alternativo, mejoradores de suelo, tratamiento de residuos en suelo y disposición final. En este sentido, en su artículo 30 establece que el uso de residuos como mejoradores de suelo como un destino final queda restringido para aquellos categoría II (no peligrosos) y los define como aquellos residuos que al ser incorporados al suelo, tengan por objetivo mejorar o recuperar la calidad productiva o proceder al mantenimiento de áreas verdes.

EN ELABORACIÓN

En Uruguay se viene desarrollando una Pauta Técnica para el uso de residuos como mejoradores de suelo como alternativa de destino final, la cual está aún en su versión borrador de abril de 2015, y que puede ser aplicable a la gestión de los lodos. Esta Pauta define como mejorador de suelo al producto que al ser aplicado en el suelo modifica favorablemente o mantiene las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del suelo, a través de: aportar nutrientes; mantener o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo; mejorar las propiedades de estructura, drenaje, aireación, retención de agua; favorecer o regular la absorción de los nutrientes, corregir determinadas anomalías de tipo fisiológicas; sin generar perjuicios para la salud y el ambiente. En la propuesta de reglamentación se detallan las condiciones técnicas de operación, monitoreo y seguimiento de los residuos sólidos destinados al uso como mejoradores de suelo, de forma que no produzcan daños al ambiente, la salud humana, animal o vegetal. Establece las especificaciones requeridas para el uso de los residuos bajo dos niveles de restricción, y los requerimientos para los proyectos de incorporación de residuos como mejoradores de suelo en cuanto a los criterios a cumplir y al contenido de la guía de aplicación de forma de garantizar el uso adecuado del residuo con el respectivo plan de monitoreo y control del suelo. No discrimina los residuos por fuente de generación. Define una alternativa A para la cual se establecen criterios de calidad restrictivos de forma que los residuos puedan aplicarse sin control y una alternativa B con criterios de calidad menos exigentes por lo que se indican condiciones y restricciones para su uso como mejoradores de suelo. Esta opción de destino final, según lo establece el Decreto 182/013, queda restringido para los residuos categoría II.

TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO APLICADAS

Los sistemas de tratamiento de efluentes que posee OSE son variados, dependiendo de la cantidad de habitantes a servir, condiciones del cuerpo receptor y tecnología. Éstos se pueden enumerar de la siguiente manera:

- Pretratamiento y vertido (rejas, desarenadores).
- Tratamiento primario (sedimentación primaria, proceso fisicoquímico, desinfección).
- Tratamiento secundario.
 - Aerobio (lodos activados convencional/aireación extendida/zanja de oxidación, desinfección).
 - Anaerobio (UASB, desinfección).
- Tratamiento terciario.
 - Remoción biológica de nutrientes (nitrificación, desnitrificación, remoción de fósforo en reactor anaerobio, desinfección).
 - Precipitación química de nutrientes (remoción de fósforo mediante adición de sales metálicas, desinfección).
- Sistema de lagunas (anaerobia, facultativas, aireadas, de maduración).

Al 2015, del total de sistemas, 8 realizan vertido directo a cuerpo receptor (con desbaste), 2 cuentan con un pretratamiento previo al vertido, 24 corresponden a Plantas con generación continua de lodos (PTAR) y 19 corresponden a sistemas de lagunas.

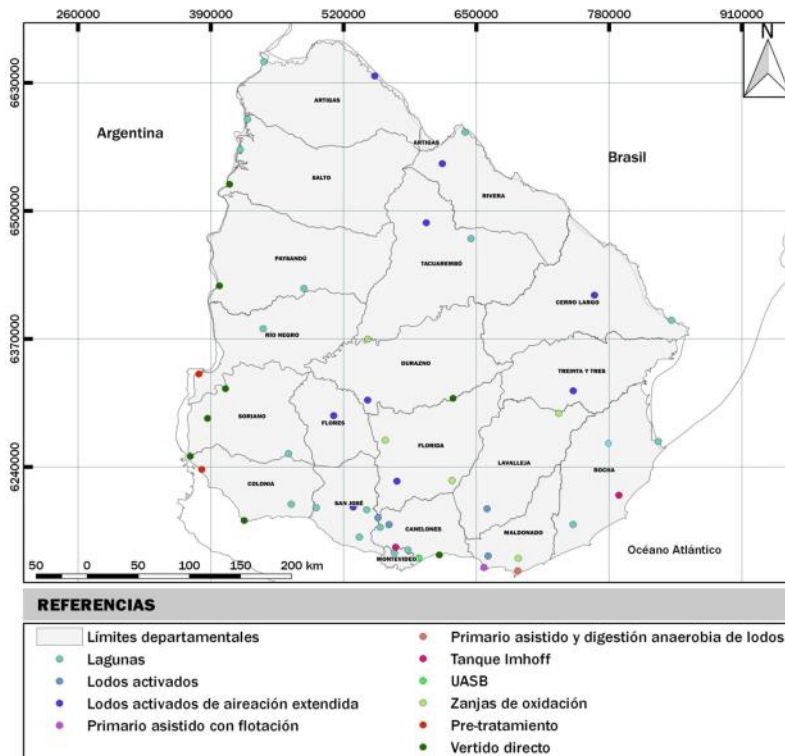


Figura 2 Distribución territorial de los servicios de saneamiento por tipología de tratamiento

CARACTERIZACIÓN

Desde hace un tiempo OSE viene realizando análisis de lodos provenientes principalmente de plantas de tratamiento basadas en procesos de tipo lodos activados y tratamientos primarios con digestión de lodos. De los 42 servicios actuales de saneamiento que incorporan tratamiento de efluentes 24 corresponden a plantas con generación continua de lodos y, al año 2015, se disponía de resultados parciales de caracterización de lodos de 16 de ellas (67%) a lo largo de 9 años. Para éstas, en el 63% de los casos se realizó un único ensayo de caracterización, mientras que para el restante se realizaron dos caracterizaciones. No se dispone de monitoreo de caracterización estacionales, por lo que no se puede realizar un análisis respecto a la potencial variación estacional de su composición. El Decreto 182/013 consagra en su Artículo 7 la forma de caracterizar los residuos. En la siguiente Tabla se presentan los valores promedio, máximo y mínimo para los parámetros físico-químicos analizados.

Tabla 1 Caracterización lodos de PTAR: rangos de variación de los parámetros caracterizados

| Parámetro | Concentración total (mg/kg lodo bs) | | | Concentración en lixiviado (mg/L) |
|--------------------|-------------------------------------|--------|--------|-----------------------------------|
| | Promedio | Mínimo | Máximo | |
| Inorgánicos | | | | |
| As | - | <0,1 | 26,4 | <0,002 – 0,029 |
| Cd | - | <0,5 | 4,5 | <0,02 – 0,02 |
| Cr total | - | <10 | 47 | <0,1 - 0,2 |
| Cr +6 | - | <0,3 | 7 | <0,03 - <0,11 |
| Cu | 258 | 70 | 437 | <0,1 – 0,6 |
| Hg | - | <0,10 | 8,7 | <0,0002 – 0,04 |
| Ni | - | <10 | 44 | <0,1 – 0,3 |

1 El límite de detección en algunos casos coincide con el límite del Decreto 182/013.



| Parámetro | Concentración total (mg/kg lodo bs) | | | Concentración en lixiviado (mg/L) |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--------|--------|-----------------------------------|
| | Promedio | Mínimo | Máximo | |
| Pb | - | <10 | 222 | <0,1 – 0,5 |
| Se | - | <0,023 | >2,6 | <0,001 – 0,025 |
| Ba | | | | <0,1 – 7,8 |
| Mo | | | | <0,1 - <0,5 |
| Sb | | | | <0,1 - <0,5 |
| Ag | | | | <0,1 |
| Materia orgánica | | | | |
| Materia orgánica (%C) | 29 | 9 | 62 | |
| DQO | | | | 983 – 53.760 (19.343 promedio) |
| Nutrientes | | | | |
| pH | 7,0 | 6,2 | 8,1 | |
| NH ₄ ⁺ (mg/kg) | 3.595 | 263 | 19.786 | <0,1 – 167 |
| NO ₃ ⁻ (mg/kg) | 2.469 | 48 | 13.233 | 5 – 233 |
| NO ₂ ⁻ (mg/kg) | - | <1 | 146 | <0,03 – 0,3 |
| N Kjeldahl (%N) | 6,1 | 3,4 | 8,5 | 196 – 403 (300 promedio) |
| P total | 1,4 | 0,3 | 2,7 | 9 – 126 (67 promedio) |
| PO ₄ ³⁻ | | | | 8 – 112 (60 promedio) |
| Otros | | | | |
| Sólidos volátiles base húmeda (%) | 17 | 9 | 48 | |
| Sólidos totales (%) | 26 | 11 | 85 | |
| Humedad | 74 | 15 | 89 | |

Cumplimiento con estándares del artículo 7 del Decreto 182/013

Parámetros no regulados por el Decreto 182/013

El mínimo valor de algunos metales corresponde a su límite de detección.

Nota:

En particular los valores de Cr+6 corresponden en todos los casos al límite de detección.

Adicionalmente al test de lixiviación en los lodos se han realizado análisis de fracción total, coliformes, salmonella sp y huevos de helminto. Comparando en base al decreto 182/13 se concluye:

- No resultan corrosivos, dado que su pH se encuentra entre 6,2 y 8,1.
- Considerando su composición, no resultan inflamables ni reactivos.
- No se han realizado análisis de contenido de compuestos orgánicos (como ser agroquímicos, hidrocarburos, productos farmacéuticos u otros compuestos debido a vertidos no domésticos). No se espera que estos puedan estar en concentraciones que resulten problemáticos y, por lo tanto, se entiende que su presencia no le atribuye peligrosidad al lodo, debido a la gran dilución que experimentan estos compuestos en la planta (volumen de vertidos no domésticos relativo a volumen doméstico).
- Los niveles de concentración de metales en el lixiviado se encuentran en niveles inferiores a los estándares establecidos por la normativa. En términos generales esta afirmación se da con un importante margen de seguridad. Los metales que se acercan más al estándar del decreto son el Pb y Cd (contando con un margen de seguridad mayor al 100 %). Por otro lado, tal como se resalta en la tabla anterior (Tabla 4-4), se requieren bajar los límites de cuantificación para el caso del Cromo hexavalente, de forma de asegurar que este se encuentra por debajo de la normativa y para conocer su margen de seguridad.
- No se han realizado análisis de Ecotoxicidad en el lodo.
- Respecto al riesgo biológico, el Decreto establece que el lodo será peligroso cuando los agentes patógenos que contengan puedan poner en riesgo la salud de la población o la sanidad animal o vegetal. Por lo tanto, el análisis relacionado con los riesgos de carácter biológico debe ir vinculado inexorablemente al destino que tenga el lodo luego de generado.

La Pauta técnica establece en primer lugar que los residuos deben inicialmente cumplir dos condiciones para ser potencialmente considerados como mejoradores de suelo: (a) ser residuos de la Categoría II y “tener una composición tal que permita el aporte de nutrientes y/o mantener o aumentar el contenido de



materia orgánica y/o mejorar las propiedades físicas y/o biológicas del suelo". Ambos criterios serían cumplidos por los lodos de las PTAR.

GENERACIÓN ACTUAL DE LODOS

Para los sistemas de tratamiento (sin considerar lagunas), se realizó una estimación teórica (1) de la cantidad de lodos generada en la actualidad a partir de coeficientes recomendados de generación por habitante y por tipo de tratamiento, cantidad de unidades habitacionales y cobertura, cantidad de habitantes servidos por barométrica. Los datos de población son en base a Censo de Instituto Nacional de Estadística (INE) 2011.

$$(1) \text{Lodos}_{PTAR} = UH \times C \times Oc \times D \times T_{ptar} + UH \times (1-C) \times D \times T_{barométrica}$$

Donde:

Lodos_{PTAR} = generación PTAR (tSS/año)

UH = unidades habitacionales totales (OSE)

C = UHs/UH con UHs unidades habitacionales con saneamiento (% , OSE)

Oc = hogares ocupados (% , Censo 2011)

D = tamaño promedio de hogares (hab/viv, Censo 2011)

Tabla 2 Tasa de producción de lodo T según sistema de tratamiento

| Tipo de tratamiento | Tasa de producción de lodo T (gSS/d.hab) |
|--|--|
| Lodos activados | 25 – 35 |
| Aireación extendida | 40 – 45 |
| UASB | 12 – 18 |
| Primario asistido y digestión anaerobia de lodos / Planta de Maldonado | 13 |
| Primario asistido con flotación / Piriápolis | 77,4 |
| Lagunas anaerobias | 45 |
| Lagunas facultativas primarias | 20 |
| Lagunas facultativas secundarias | 8 |
| Barométricas | 10 |

Entre las PTARs que generan y deshidratan lodos para el año 2015, se produce un total de 6.571 tSS/año de lodos. En cuanto a lagunas, se tiene una generación anual de 1682 tSS/año.

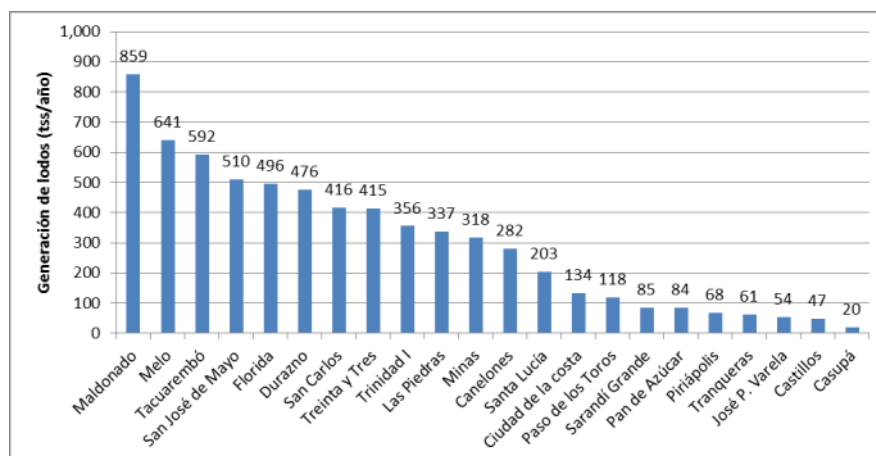


Gráfico 1 Generación de lodos en PTAR (año 2015)

Los principales resultados son:

- El 50% de las PTAR genera el 80% de lodos. Maldonado es la PTAR que más lodos genera, alcanzando aproximadamente el 10% de la generación nacional. Cabe señalar que no se



considera Montevideo dentro de la generación de lodos de PTAR ya que el servicio no corresponde a OSE (además de no generar lodos).

- De la comparación entre los cálculos teóricos de generación de lodos respecto a los registros se observan importantes diferencias. El 80% de las PTAR presentan diferencias superiores al 20%. Esto puede deberse a alguna de las siguientes razones:
 - Coeficientes teóricos empleados que no reflejen el tratamiento específico de cada PTAR, o sobrestimación de la población servida por cada planta.
 - Errores en el registro de generación de lodos en cada PTAR.
 - Diferentes modalidades de operación de cada sistema particular (maniobra de purga, edad de lodo, concentración de mezcla en reactores, etc.).

PROYECCIÓN DE LODOS

Para la realización de las proyecciones, se adoptaron un conjunto de hipótesis de trabajo relativas a la evolución de ciertas variables que resultan determinantes para la proyección de lodos: crecimiento de la población, el nivel de cobertura del servicio y la tecnología usada. Se realizó una proyección de la generación de lodos a 30 años. Para ello se partió de la generación actual de lodos estimada.

Para la proyección de crecimiento de la población se tomaron los datos de población por departamento publicados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) para el período 1996 – 2025. Para las localidades que ya cuentan con unidades habitacionales con servicio de saneamiento, sea que estas se dirijan a una planta de tratamiento o no, se supuso una tasa de crecimiento vegetativa del 0,7 % para el nivel de cobertura de servicio. Dicha tasa corresponde al promedio del crecimiento anual de las conexiones de alcantarillado familiar a nivel de cada localidad en el período 2013 – 2015 (crecimiento promedio de las conexiones para todas las localidades que cuentan con servicios de saneamiento de OSE). Se supuso que las nuevas obras comienzan a generar lodos o modifican su nivel de generación, según corresponda en cada caso, al año siguiente del final de las obras. En este sentido, se tomaron los lodos cuantificados para valores de 2015, y se actualizó su crecimiento según el crecimiento proyectado de la población y de cobertura del servicio.

En particular para los sistemas de tratamiento basados en lagunajes, se realizó la proyección en base a los datos de generación de lodos per cápita en lagunas

RESULTADOS

En referencia a la generación de lodos de PTAR (sin considerar las lagunas), ésta aumenta de 6.571 tSS/año (2015) a 12.894 tSS/año al 2030, alcanzando las 15.489 tSS/año al 2045, lo que implica un aumento del 96% para el 2030 y 136% para el 2045. A continuación se presenta el detalle por región, donde se puede apreciar que en el año 2015 las regiones Sureste y Centro son las que presentan mayor generación y muy similares (34% y 31% de la generación total respectivamente), mientras que la región Litoral Norte no tiene PTARs con generación continua de lodos. Hacia el año 2045 esta situación cambia, siendo la región Litoral Norte la principal generadora (29% de la generación total).

Las estimaciones de la producción de lodos de PTAR basadas en fórmulas y modelos matemáticos son importantes, y a menudo es la única información disponible. Sin embargo, estas estimaciones no siempre reflejan con precisión las producciones reales por diversas razones: variaciones en la operación de los sistemas, productos químicos utilizados, las variaciones en la calidad de aguas residuales, aplicación de diferentes criterios para estimar el volumen de llenado de las volquetas, etc.

En cuanto a sistemas de lagunaje, los cálculos teóricos sirven como guía para optimizar el seguimiento que se realiza a las mismas, ya que la frecuencia de limpieza de estas instalaciones es variable. Por tanto, se deberá establecer un protocolo de seguimiento del volumen de lodo acumulado en cada una de las lagunas con el fin de establecer y proceder a diseñar la operación de limpieza cuando el lodo se acerque a un 20% a 30% de volumen útil de la unidad, y en cualquier caso, cada 10 años para las lagunas de recepción y cada 20 años para las siguientes independientemente del nivel de acumulación que presente la laguna.

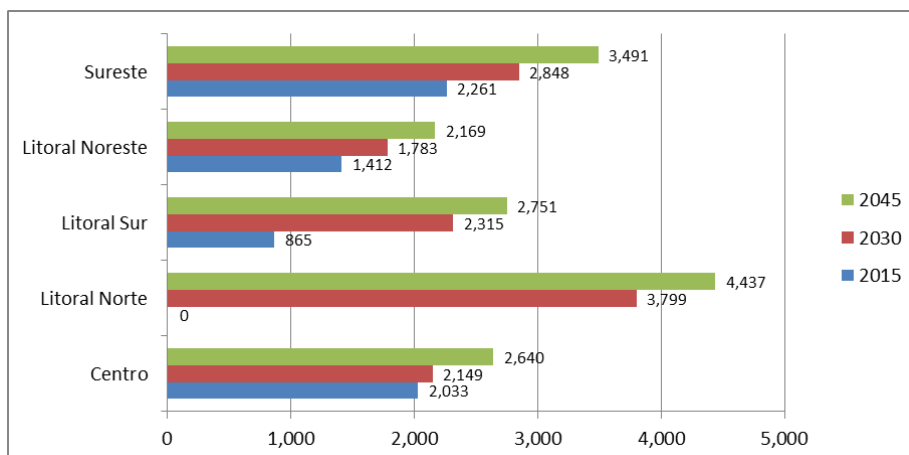


Gráfico 2 Resumen de proyección de generación lodos de PTAR por regional

En cuanto a caracterización, resulta fundamental la determinación de parámetros mínimos como ser: contenido de humedad, sólidos fijos y materia orgánica, ya que el contenido de sólidos fijos refleja el grado de estabilización de los lodos, un parámetro muy importante para uso de mejorador de suelos. Para garantizar la seguridad de tal uso, el producto debe tener ciertas características que permitan asegurar la minimización de los impactos ambientales negativos y sanitarios asociados. Es así que los estándares básicos de calidad deben establecerse para permitir el uso adecuado y la seguridad en el manejo. Aunque OSE viene realizando la mayoría de estas determinaciones, no se dispone de estudios de caracterización de gran parte de los lodos de PTAR y para las caracterizaciones disponibles, existen algunos parámetros para los que no puede ser evaluado el cumplimiento del estándar o valor guía (ecotoxicidad, conductividad eléctrica, reducción de sólidos volátiles, ensayo de germinación, etc.). Por lo tanto, resulta imprescindible la ejecución de un plan de monitoreo global sistemático a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- *Biosólidos na agricultura*. Milton Tomoyuki, SABESP, USP, ESALQ, UNESP. 2001.
- Decreto 182/13 Reglamento de gestión de residuos sólidos industriales y asimilados. DINAMA – MVOTMA. 2013
- *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. Duncan Mara. 2003.
- *Pauta Técnica para el uso de residuos como mejoradores de suelo como alternativa de destino final*. DINAMA – MVOTMA. 2015
- *Principios do tratamento biológico de águas residuarias - lagoas de estabilizacao*. Von sperling UFMG.
- *Principios do tratamento biológico de águas residuarias - Lodo de esgotos, tratamento e disposição final*. Andreoli, Von Sperling, Fernandes, UFMG, SANEPAR. 2001.