

**MANEJO DE BIOSÓLIDOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES, PTAR, DEL MUNICIPIO DE LA CALERA**

**LUISA FERNANDA GARCÍA LONDOÑO**

**FREDY ESCOBAR DIAZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2015**

MANEJO DE BIOSÓLIDOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES, PTAR, DEL MUNICIPIO DE LA CALERA

LUISA FERNANDA GARCÍA LONDOÑO

FREDY ESCOBAR DIAZ

Monografía para optar por el título de  
Especialista en Ingeniería Ambiental

Director

RICHARD DIAZ GUERRERO

Ingeniero Químico

Especialista en Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA

2015

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento:

A nuestras familias por ser el soporte de todas las actividades de la vida.

La Universidad Industrial de Santander y el cuerpo docente de la Especialización en Ingeniería Ambiental por su disposición en la enseñanza de los temas propios de cada área

Al ingeniero especialista Richard Díaz, director de la monografía, por su colaboración y apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Al personal administrativo de Aseduis Bogotá por su atención y ayuda.

A la empresa de servicios públicos de la Calera, ESPUCAL, y al ingeniero ambiental Arturo Manosalva por su colaboración incondicional en el suministro de información, acompañamiento y por abrirnos las puertas para el desarrollo de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	18
1. ANTECEDENTES .....	20
2.1 ANTECEDENTES TÉCNICOS .....	20
2.2 ANTECEDENTES LEGALES .....	23
3 MANEJO DE BIOSÓLIDOS EN LA PTAR DE LA CALERA .....	28
3.1 PLAN DE SANEAMIENTO Y MANEJO DE VERTIMIENTOS .....	36
3.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, LA CALERA .....	42
3.2.1 Pretratamiento .....	45
3.2.2 Reactores SBR .....	47
3.3 MANEJO ACTUAL DE BIOSÓLIDOS .....	50
4 PLAN DE MANEJO DE BIOSÓLIDOS .....	57
4.1 ESTABILIZACIÓN .....	57
4.2 CUANTIFICACIÓN .....	67
4.3 CARACTERIZACIÓN .....	67
4.4 ALTERNATIVAS DE USO .....	72
4.5 TASA MÁXIMA ANUAL DE APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS .....	77
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	80
BIBLIOGRAFÍA .....	82
ANEXOS .....	84

## LISTA DE FIGURAS

<i>Gráfica 1. Mapa ubicación municipio de La Calera .....</i>	<i>30</i>
<i>Gráfica 2. Cobertura de servicios públicos en la cabecera municipal de La Calera. ....</i>	<i>32</i>
<i>Gráfica 3. Proceso actual de manejo de lodos. ....</i>	<i>56</i>
<i>Gráfica 4. Ciclos de reactor SBR. ....</i>	<i>62</i>
<i>Gráfica 5. Valores de diseño para el biodigestor. ....</i>	<i>64</i>
<i>Gráfica 6. Diagrama de flujo, propuesta de manejo de biosólidos. ....</i>	<i>66</i>

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Variables químicas de caracterización de Biosólidos para su uso.</i>	27
<i>Tabla 2. Variables microbiológicas de caracterización de Biosólidos para su uso.</i>	27
<i>Tabla 3. Marco Geográfico.</i>	29
<i>Tabla 4. Proyección poblacional del municipio</i>	31
<i>Tabla 5. Proyección poblacional cabecera municipal La Calera</i>	31
<i>Tabla 6. Aspectos socioculturales del municipio.</i>	34
<i>Tabla 7. Generalidades del sistema de alcantarillado.</i>	36
<i>Tabla 8. Vertimientos de agua residual domestica</i>	37
<i>Tabla 9. Resumen de proyectos, programas y actividades.</i>	38
<i>Tabla 10. Objetivos y metas del PSMV.</i>	40
<i>Tabla 11. Tratamientos para aguas residuales.</i>	43
<i>Tabla 12. Características del afluente de la PTAR de La Calera.</i>	44
<i>Tabla 13. Condiciones para los efluentes vertidos al Río Teusacá.</i>	45
<i>Tabla 14. Tiempos de operación de cada reactor SBR.</i>	49
<i>Tabla 15. Tecnologías de Estabilización y Usos asociados.</i>	58
<i>Tabla 16. Frecuencia de caracterización de biosólidos.</i>	67
<i>Tabla 17. Caracterización físico química de la muestra.</i>	69
<i>Tabla 18. Caracterización microbiológica de la muestra.</i>	70
<i>Tabla 19. Tasa Máxima Anual de Aplicación.</i>	77
<i>Tabla 21. Tasa anual de aplicación de biosólidos.</i>	79

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Calera. ....</i>	<i>42</i>
<i>Fotografía 2. Etapa de pretratamiento de la PTAR. ....</i>	<i>46</i>
<i>Fotografía 3. Reactor SBR.....</i>	<i>47</i>
<i>Fotografía 4. Compresores para el aireado en los reactores SBR.....</i>	<i>48</i>
<i>Fotografía 5. Descarga de efluentes al Río Teusacá. ....</i>	<i>49</i>
<i>Fotografía 6. Entrada de aguas residuales al PTAR. ....</i>	<i>51</i>
<i>Fotografía 7. Toma de muestra para medición de los sólidos sedimentables. ....</i>	<i>52</i>
<i>Fotografía 8. Medición de sólidos sedimentables usando cono Imhoff. ....</i>	<i>52</i>
<i>Fotografía 9. Biodigestor, PTAR La Calera .....</i>	<i>53</i>
<i>Fotografía 10. Lechos de secado de lodos.....</i>	<i>54</i>
<i>Fotografía 11. Lodos secos.....</i>	<i>55</i>
<i>Fotografía 12. Disposición final actual de los biolodos.....</i>	<i>55</i>
<i>Fotografía 13. Transporte de las muestras analizadas. ....</i>	<i>69</i>
<i>Fotografía 14.Zonas verdes PTAR La Calera.....</i>	<i>74</i>

## LISTA DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1. TAAB. Tasa Anual de Aplicación de Biosólidos.....</i>	<i>78</i>
--	-----------

## LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo A. Resultados microbiológicos de la muestra analizada.....</i>	<i>84</i>
<i>Anexo B Resultados fisicoquímicos de la muestra analizada. ....</i>	<i>85</i>

## GLOSARIO

**Acondicionador de suelo.** Toda sustancia cuya acción fundamental consiste en el mejoramiento, de por lo menos, una característica, física, química o biológica del suelo.

**Aguas residuales municipales.** Son las agua vertidas, recolectadas y transportadas por el sistema de alcantarillado público, compuestas por las aguas residuales domésticas y las aguas no domésticas.

**Almacenamiento.** Mantenimiento del biosólido bajo condiciones que garanticen un adecuado control de las emisiones de gases y vapores, manejo de lixiviados y control a la proliferación de vectores.

**Atracción de vectores.** Es la característica de los lodos y biosólidos para atraer vectores o diseminadores como roedores, moscas, mosquitos, u otros organismos capaces de transportar agentes infecciosos.

**Biosólidos.** 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.

No son biosólidos las escorias y cenizas producto de la oxidación o reducción térmica de lodos, así como los residuos que se retiran de los equipos e instalaciones de la fase preliminar del tratamiento de aguas residuales, ni los provenientes de dragados o de limpieza de sumideros.

**Distribuidor de biosólidos.** Persona natural o jurídica que comercializa los biosólidos.

**Digestión aeróbica.** Es la descomposición biológica en condiciones controladas de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en bióxido de carbono y agua por los microorganismos en presencia de oxígeno.

**Digestión anaerobia.** Es la descomposición biológica en condiciones controladas de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en gas metano y bióxido de carbono y agua por los microorganismos en ausencia de oxígeno.

**Estabilización de lodos.** Proceso que comprende los tratamientos destinados a controlar la degradación biológica, la atracción de vectores y la patogenicidad de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales acondicionándolos para su uso o disposición final.

**Materiales de complemento o mezcla para el biosólido.** Son aquellos materiales que cuentan con propiedades para mejorar las características del biosólido. Pueden provenir de procesos de compostaje, humificación o lombricultura.

**Lodo.** Suspensión de un sólido en un líquido proveniente del tratamiento de aguas residuales municipales.

**Productor de biosólidos.** Persona prestadora del servicio público domiciliario de alcantarillado en el componente de tratamiento de aguas residuales municipales que realiza procesos de estabilización de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

**Restauración, mejoramiento o recuperación de suelos degradados.** Aplicación de medidas con el fin de corregir los procesos de degradación del suelo; iniciar o acelerar la recuperación de suelos degradados como resultado de actividades humanas o por causas naturales; o restablecer parcialmente los elementos estructurales, funciones o servicios ecosistémicos del suelo.

**Registro de productores y distribuidores de biosólidos.** Inscripción que debe realizar el productor y distribuidor de biosólidos ante el ICA, cuando este se destine al uso agrícola.

**Suelos degradados.** Son aquellos que por actividades antrópicas o por fenómenos naturales han sufrido un proceso de pérdida de material superficial, pérdida de nutrientes o pérdida de su estructura original, afectando la capacidad de soporte de la vegetación preexistente o de los cultivos. Son suelos degradados también aquellos donde ha ocurrido desaparición de la vegetación natural o implantada y en los que se incrementa la vulnerabilidad del suelo a procesos de degradación.

**Tasa agronómica.** Tasa de aplicación de biosólidos a suelos agrícolas diseñada para proveer la cantidad de nutrientes: nitrógeno, fósforo o micronutrientes, requerido por el

cultivo o vegetación, evitando generar impactos adversos o negativos y minimizando el potencial de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

**Usuario de biosólidos.** Persona natural o jurídica que utiliza los biosólidos del productor o distribuidor.

## RESUMEN

### **TITULO: MANEJO DE BIOSÓLIDOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PTAR, DEL MUNICIPIO DE LA CALERA.\***

Autores: ESCOBAR DÍAZ, Fredy. GARCÍA LONDOÑO, Luisa Fernanda.\*\*

Palabras Claves: Biosólidos, Aguas Residuales, Vertimientos.

### **DESCRIPCIÓN**

Los biosólidos son uno de los productos obtenidos en el tratamiento de aguas residuales municipales, en Colombia la falta de una adecuada gestión y manejo ha sido evidente desde hace algunos años, razón por la cual se han convertido en un pasivo ambiental de proporciones considerables. En los últimos años, y por una política pública estatal, se han realizado esfuerzos por aumentar la cantidad de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en todo el territorio nacional, concomitante con este aumento en infraestructura de saneamiento está la cantidad de biosólidos generados. La creciente cantidad de lodos, su mala disposición y su poco aprovechamiento fueron las razones por las que el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Desarrollo emitió en el año 2014 el Decreto 1287 en el que establece los criterios de uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

Debido a la obligatoriedad del cumplimiento del decreto, las empresas públicas municipales deben empezar a implementar todos los procesos necesarios para garantizar que sus biosólidos se puedan aprovechar o, en el peor de los casos, realizar su disposición de forma adecuada.

Entonces, en este documento se presenta una breve descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de La Calera, municipio cercano a la ciudad de Bogotá, un diagnóstico de la situación actual y las condiciones de sus biosólidos y por último una propuesta base con alternativas de uso o disposición teniendo como base el Decreto 1287 de 2014.

---

\*Trabajo de grado

\*\*Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director. I.Q. Esp. Richard Díaz Guerrero.

## ABSTRACT

**TITLE: BIOSOLIDS MANAGEMENT OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS, WWTP, OF THE LA CALERA MUNICIPALITY.\***

Authors: ESCOBAR DÍAZ, Fredy. GARCÍA LONDOÑO, Luisa Fernanda.\*\*

Key words: Biosolids, wastewater, dumping.

### DESCRIPTION

The biosolids are one of the products obtained from the municipal wastewater treatment, in Colombia the lack of a proper management and administration has been obvious since few years ago, for this reason it has become an environmental liability sizeable of substantial proportions. In the last years, and due to a state public policy, efforts have been made to increase the amount of waste water treatment plants in all national territory, concomitant with this increase in sanitation infrastructure is the biosolids generated amount.

The growing quantity of sewage sludge, its bad disposition and little use were the reasons why the Ministry of Housing, City and Development issued in 2014 Decree 1287 in which establishing the criteria for the usage of biosolids generated in municipal wastewater treatment plants. Because of the obligation to comply with the decree, municipal public companies should start implementing all the necessary processes to ensure that their biosolids can be exploited or, in the worst case, make a properly disposal.

So, this document presents a brief description of wastewater treatment plant and the sanitation and dumping management plan of La Calera, municipality near to the Bogotá city, a diagnosis on the current state and their biosolids conditions and finally a basis proposal like alternative use or disposal based on the Decree 1287 of 2014.

---

\*Thesis

\*\*Chemical Engineering School. Environmental Engineering Specialist. Director: I.Q. Esp. Richard Díaz Guerrero

## INTRODUCCIÓN

Los tratamientos de aguas residuales municipales, por no hablar también de las industriales y para consumo humano, generan una cantidad considerable de lodos en los procesos de sedimentación simple, coagulación química y lavado de filtros.

Gran cantidad de los lodos terminan siendo objeto de una mala disposición en lugares no adecuados y hasta hace unos años, en el mejor de los casos, eran llevados a los rellenos sanitarios para su disposición final.

Año tras año la acumulación de lodos en rellenos sanitarios y cuerpos de agua se ha convertido en un pasivo ambiental de graves consecuencias aún no estudiadas a fondo. A continuación se listan algunas consideraciones ambientales de los lodos generados en el tratamiento de agua<sup>1</sup>:

- La descarga de lodos de plantas de purificación de agua sobre ríos y lagos conduce a la formación de depósitos, o bancos de lodos, en las zonas de baja velocidad de flujo. Dichos depósitos cubren a los organismos bénticos y alteran a cadena alimenticia de los peces.
- Los lodos reducen la calidad estética de la fuente receptora al aumentar la turbiedad del agua.
- La descarga de lodos y aguas de lavado de filtros conlleva el riesgo de contaminación bacteriana patogénica y de aumento en el crecimiento microbiano del agua.
- La acumulación de lodos en los rellenos sanitarios reduce el espacio disponible y la vida útil de los rellenos.

Se puede encontrar un sinnúmero de razones de orden estético, ambiental, financiero y técnico por las cuales es fundamental el aprovechamiento y correcta

---

<sup>1</sup> Romero Rojas, Jorge Alberto; PURIFICACIÓN DEL AGUA, Bogotá, 2000. Escuela Colombiana de Ingeniería.

disposición de los biosólidos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Consciente de esta situación, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT) emitió el decreto 1287 en el año 2014 para darle un manejo adecuado al tema de los biosólidos.

Pero la simple expedición del Decreto 1287 es el paso inicial que llevará a la unión de esfuerzos que culminen con un adecuado aprovechamiento de los biosólidos. Ahora el reto está en los entes territoriales, la academia y la industria quienes deben encontrar procesos adecuados que minimicen el impacto ambiental y generen el mayor valor agregado posible.

Dentro del marco de esta naciente perspectiva hacia el uso de biosólidos y la necesidad de aplicar en Decreto 1287 planteamos la conveniencia de desarrollar un proyecto de formulación de alternativas de uso de los lodos generados en la PTAR de La Calera.

Entonces, este documento presenta información básica del municipio para contextualizar las dimensiones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, la cantidad de lodos generados y las oportunidades de uso y aprovechamiento de biosólidos.

Además se documentan las bases de diseño, características, tecnología aplicada operación y demás características de la PTAR que deben ser tenidos en cuenta en la formulación de alternativas de aprovechamiento de los biosólidos para cumplir con el Decreto 1287 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

# 1. ANTECEDENTES

## 2.1 ANTECEDENTES TÉCNICOS

Abordando la situación desde un punto de vista global se encuentra que casi desde la década de los años 70, ha existido una gran problemática ambiental debido a la incapacidad de tratar las aguas residuales por parte de los pueblos, principalmente los subdesarrollados; esto gracias al aumento desproporcionado de la población y la escasez de recursos económicos para construir plantas de tratamiento y mejorar los procesos y la gestión de los biosólidos generados allí.

A pesar de esto, los biosólidos, especialmente los tipo B, tienen historia registrada desde el siglo XIX acerca de su uso comercial en fertilizantes para agricultura. En EEUU en ciudades como Madison – Wisconsin, Los Ángeles, Milwaukee, Washington D.C y Austin llevan ya algunos años aprovechando los productos de biosólidos en actividad forestal, agricultura, jardinería, en parques, como compostaje y además se exportan a Japón, Canadá, Venezuela e India.<sup>2</sup>

Sin embargo el manejo que se le ha dado desde el punto de vista ambiental a tales biosólidos no ha sido precisamente el más conveniente para evitar los riesgos medioambientales y salubres que trae consigo la inadecuada utilización de los productos originados a partir de estos. Es por tal razón que en los últimos años ha habido una creciente preocupación mundial por crear leyes que regulen el uso y disposición indiscriminados de biosólidos, y buscando su aprovechamiento benéfico en lugar de incinerarlos o disponerlos.

---

<sup>2</sup> Los Biosólidos: ¿una solución a un problema? Producción + Limpia - Julio - Diciembre 2007 -Vol. 2 No. 2. Juan Alberto Vélez Zuluaga. Consultado en línea el 29 de ene. de 2015. [http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol2n2/PL\\_V2N2\\_57-71\\_biosolidos.pdf](http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol2n2/PL_V2N2_57-71_biosolidos.pdf)  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS. Desarrollo de prácticas sustentables de reciclaje de biosólidos en plan estaciones forestales. Universidad de Chile. 2003.

En Colombia se realizaron algunas investigaciones con el fin de generar opciones de aprovechamiento de biosólidos en la tres PTARS más importantes del país y que originan mayor cantidad de estos, para establecer varias posibilidades de uso. De dichas investigaciones salieron las siguientes propuestas:

En la PTAR El Salitre (Bogotá): Aprovechamiento como cobertura final en el relleno sanitario Doña Juana, compostaje de biosólidos, biorremediación de suelos contaminados, aprovechamiento forestal, recuperación de suelos degradados, indicadores de contaminación fecal de lodos y biosólidos de la PTAR El Salitre, aprovechamiento agrícola de biosólidos. PTAR San Fernando (Medellín): Recuperación suelos degradados, compostaje de biosólidos, revegetación de taludes, aprovechamiento agricultura, biorremediación de suelos, lombricultura de biosólidos. PTAR Cañaveralejo (Cali): Aprovechamiento como cobertura final del botadero Basuro de Navarro, aprovechamiento agrícola, compostaje de biosólidos, lombricultura de biosólidos. PTAR Río Frío: Compostaje de biosólidos, aprovechamiento forestal en viveros de la Corporación de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB).<sup>3</sup>

No obstante, estas investigaciones fueron realizadas al rededor del año 2003, donde todavía la normatividad Colombiana para el manejo de biosólidos no existía, salvo unas definiciones de “lodo biológico” en el reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico (RAS 1998), resolución 822 de 1998 y de “biosólidos” en la resolución 1096 de 2000 (RAS). Y también se presentaron en el 2003, por parte de los operadores de las PTARS más importantes del país unos proyectos y borradores de normas. También se usó como base de algunos estudios la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167 de 2004, que regula los productos orgánicos usados como fertilizantes o acondicionadores del suelo.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> GESTIÓN DE BIOSÓLIDOS EN COLOMBIA. Gian Paolo Dáguer G. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/biosolidos.pdf>, Consultado en línea el 29 de ene. de 2015

<sup>4</sup> REVISTA DE SALUD PÚBLICA · Volumen 15 (5), Octubre 2013. Consultado en línea el 29 de ene. de 2015. <http://www.scielosp.org/pdf/rsap/v15n5/v15n5a13.pdf>

Actualmente contamos por fin con el decreto 1287 de 2014, cuyo objeto es establecer los criterios para el uso de los biosólidos generados en las PTARS municipales. "Con esta norma se busca que los biosólidos, producidos a partir del tratamiento de las aguas residuales, puedan ser usados adecuadamente en aplicaciones de tipo ambiental y de agricultura dado su contenido de materia orgánica".<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup>MINVIVIENDA. Ministro Luis Felipe Henao Cardona. Consultado en línea el 29 de ene. de 2015. <http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2014/julio/ministerios-de-vivienda-ambiente-y-agricultura-expiden-decreto-para-el-uso-de-bios%C3%B3lidos-en-el-pa%C3%ADs>

## 2.2 ANTECEDENTES LEGALES

El saneamiento básico y la depuración de aguas residuales tienen un marco normativo amplio, comenzando por el orden constitucional hasta una serie de Decretos y Resoluciones emitidas por los ministerios involucrados en el tema y los entes territoriales que tengan la jurisdicción correspondiente.

A nivel constitucional están los artículos 79 y 80 que establecen como “*deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación ambiental para garantizar el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución; debiendo prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las acciones legales y exigir la reparación de los daños causados.*

*Que corresponde al Estado garantizar la calidad del agua para su consumo humano y, en general, para las demás actividades en que su uso es necesario. Así mismo, regular entre otros aspectos, la clasificación de las aguas, señalar las que deben ser objeto de protección y control especial, fijar su destinación y posibilidades de aprovechamiento, estableciendo la calidad de las mismas y ejerciendo control sobre los vertimientos que se introduzcan en las aguas superficiales o subterráneas, interiores o marinas, a fin de que éstas no se conviertan en focos de contaminación que pongan en riesgo los ciclos biológicos, el normal desarrollo de las especies y la capacidad oxigenante y reguladora de los cuerpos de agua”<sup>6</sup>*

Luego cada ministerio y ente territorial tiene como obligación generar las leyes necesarias para cumplir con el mandato constitucional. En ese orden de ideas se

---

<sup>6</sup> Tomado de: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 3930. Bogotá DC. 2010

expidió el Decreto 1584 de 1984 que hace referencia a los usos del agua y os residuos líquidos, posteriormente fue derogado por el Decreto 3930 de 2010 salvo los Artículos 20 y 21 que reglamentan cuáles son las sustancias de interés sanitario.

A la fecha sigue vigente el Decreto 3930 de 2010 que tiene por objeto establecer las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.

Este Decreto rige el accionar de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Calera junto con el Acuerdo 58 de 1987 expedido por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, que establece una clasificación para los tramos de los ríos según la calidad de sus aguas, así:

- **Clase A:** Corresponde a los valores más restrictivos de los usos para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional. Preservación de fauna y flora y uso pecuario. Esto es con las aguas que actualmente presentan una mejor calidad físico-química.
- **Clase B:** Corresponde a los valores más restrictivos de los usos de la flora y fauna, el uso agrícola y el pecuario.
- **Clase C:** Corresponde a los valores más restrictivos de los usos agrícolas y pecuarios.
- **Clase D:** Corresponde a uso agrícola restringido. Sirve para la generación de energía y uso industrial restringido. Corresponde a las áreas con calidad de aguas más deteriorada.

Para la zona de operación de la PTAR del municipio el Río Teusacá está clasificado como Clase A desde la cuenca alta hasta el municipio y B desde el municipio hasta el Río Bogotá. Entonces la calidad del agua efluente debe corresponder con la calidad asimilable por el cuerpo receptor.

Los Biosólidos y su manejo son temas de suma importancia dentro del tema ambiental y, obviamente en la depuración de aguas residuales municipales. Se generan y producen de manera constante en todas las plantas de tratamiento y se han convertido en un pasivo ambiental considerable cuando enterrarlos se usa como la única vía de disposición final.

En Colombia no se había tenido una normatividad específica que reglamentara su manejo, uso y aprovechamiento hasta julio de 2014 cuando el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio presentaron el Decreto 1287 *“por el cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”*

#### ***Decreto 1287 de 2014***

El Decreto 1287 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio establece la forma como deben actuar los municipios y sus empresas prestadoras de servicios públicos, Empresa de Servicios Público de La Calera (ESPUCAL) E.S.P en este caso, frente al manejo de los biosólidos generados en la depuración de aguas residuales, sus alternativas de manejo y estabilización y las restricciones a tener en cuenta para asegurar su aprovechamiento o disposición de una forma ambientalmente responsable.

Dentro de apartado de definiciones de dicha norma es clave resaltar algunas de mayor interés para la comprensión y el desarrollo de este documento y que tienen especial importancia. Éstas son:

**Biosólidos.** 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.

No son biosólidos las escorias y cenizas producto de la oxidación o reducción térmica de lodos, así como los residuos que se retiran de los equipos e instalaciones de la fase preliminar del tratamiento de aguas residuales, ni los provenientes de dragados o de limpieza de sumideros

**Digestión aeróbica.** Es la descomposición de biológica en condiciones controladas de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en bióxido de carbono y agua por los microorganismos en presencia de oxígeno.

**Digestión anaerobia.** Es la descomposición biológica en condiciones controladas de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en gas metano y bióxido de carbono y agua por los microorganismos e ausencia de oxígeno.

**Estabilización de lodos.** Proceso que comprende los tratamientos destinados a controlar la degradación biológica, la atracción de vectores y la patogenicidad de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales acondicionándolos para su uso o disposición final

**Lodo.** Suspensión de un sólido en un líquido proveniente del tratamiento de aguas residuales domésticas.

La norma establece, al igual que lo hacen las demás normas en el tema ambiental, que es el IDEAM la institución encargada de establecer los métodos de muestreo y caracterización de los sólidos cuando es la autoridad ambiental correspondiente quien requiera la información. También se establece como metodología aprobada las reconocidas internacionalmente: EPA Environmental Protection Agency part 503, ASTM – American Society for Testing and Materials, APHA – AWWA – WEF – Standard Methods, NTC – Normas Técnicas Colombianas e ISO-IEC- International Electrotechnical Commission.

Estos métodos deberán ser utilizados para la caracterización de los biosólidos en la cual es deber del productor reportar un análisis químico y microbiológico que incluya los siguientes parámetros:

**Tabla 1. Variables químicas de caracterización de Biosólidos para su uso.**

<b>Criterio</b>	<b>Variable</b>
<b>QUÍMICOS - METALES</b>	Arsénico (As)
	Cadmio (Cd)
	Cobre (Cu)
	Cromo (Cr)
	Mercurio (Hg)
	Molibdeno (Mb)
	Níquel (Ni)
	Plomo (Pb)
	Selenio (Se)
	Zinc (Zn)

**Fuente. Decreto 1287 de 2014. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.**

**Tabla 2. Variables microbiológicas de caracterización de Biosólidos para su uso.**

<b>Criterio</b>	<b>Variable</b>
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>	Coliformes Fecales
	Huevos de Helmintos Viables
	Salmonella sp.
	Virus Entéricos

**Fuente. Decreto 1287 de 2014. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.**

### **3 MANEJO DE BIOSÓLIDOS EN LA PTAR DE LA CALERA MUNICIPIO LA CALERA, CUNDINAMARCA**

La Calera es un municipio del departamento de Cundinamarca, se ubica a solo 18 Km de Bogotá, esta cercanía es una de las razones por las que hace parte de la llamada más no constituida oficialmente “área metropolitana de Bogotá”, conservando así su autoridad; sin embargo la influencia económica y social de la capital sobre la población es bastante fuerte sobre todo en el área perteneciente a la cuenca del río Teusacá. En la vía Bogotá – La Calera se presenta un crecimiento poblacional gracias a las múltiples construcciones residenciales y comerciales que se prolongan hacia el municipio, lo que influye significativamente en la configuración socioeconómica y en los aspectos ambientales inherentes a esta expansión poblacional.

Actualmente el municipio cuenta con servicio de alcantarillado mixto que cubre aproximadamente el 95% de la población según el censo del 2005, no obstante todavía hay vertimientos directos de aguas residuales domiciliarias rurales al río Teusacá. Por fortuna la mayor parte de las aguas residuales de la población son tratadas en la PTAR La Calera antes de ser vertidas al cuerpo de agua.

**Tabla 3. Marco Geográfico**

El municipio de La Calera se sitúa al oriente del departamento de Cundinamarca y al noreste de Bogotá.	
<b>Latitud Norte</b>	4° 43' 17"
<b>Longitud Oeste</b>	73° 58'
<b>Extensión total</b>	31.686,06 Ha (según Acuerdo Municipal 043 de 1999) Km2
<b>Extensión área urbana</b>	144.34 Ha (según Acuerdo Municipal 043 de 1999) Km2
<b>Extensión área rural</b>	31.541,72 Ha (según Acuerdo Municipal 043 de 1999) Km2
<b>LIMITES</b>	
<b>NORTE</b>	Los Municipios de Guasca, Sopó y Chía.
<b>ORIENTE</b>	El Municipio de Guasca.
<b>OCCIDENTE</b>	Bogotá D.C.
<b>SUR</b>	El municipio de Choachí y Bogotá.
<b>Altitud de la cabecera municipal</b>	2.718 m.s.n.m.
<b>Temperatura media</b>	14°C
<b>Distancia de referencia</b>	18 Km. a Bogotá.

**Fuente:** Datos tomados de la alcaldía de La Calera Cundinamarca, Colombia. Sitio Web.

**Gráfica 1. Mapa ubicación municipio de La Calera**



**Fuente: Alcaldía de La Calera Cundinamarca, Colombia. Sitio Web.**

**Población del municipio.** El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) realizó el último censo general en el año 2005, con los datos recopilados se realizan proyecciones de población del año 2005 al año 2020.

De acuerdo con esta información, la proyección de la población para el año 2014 es igual a 27.169 habitantes de los cuales 21.140 habitantes son población urbana. La población máxima flotante proyectada para el año 2014 es de 2.411 habitantes.

La tasa de crecimiento poblacional tiende a la desaceleración, pero se observa que hay un proceso migratorio de los habitantes de la ciudad de Bogotá hacia los conjuntos residenciales que se construyen en las afueras del municipio, que podrían variar la tasa de crecimiento.

**Tabla 4. Proyección poblacional del municipio**

AÑO	No. HABITANTES
2000	21.056
2005	22.911
2010	25.139
2014	27.169
2015	27.751
2020	30.835

**Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR**

De este total de población, en los mismos períodos, se calcula que residirán en la cabecera municipal de La Calera la siguiente población:

**Tabla 5. Proyección poblacional cabecera municipal La Calera**

AÑO	No. HABITANTES
2000	10.013
2005	13.404
2010	17.187
2014	21.140
2015	21.266
2020	25.664

**Fuente:**

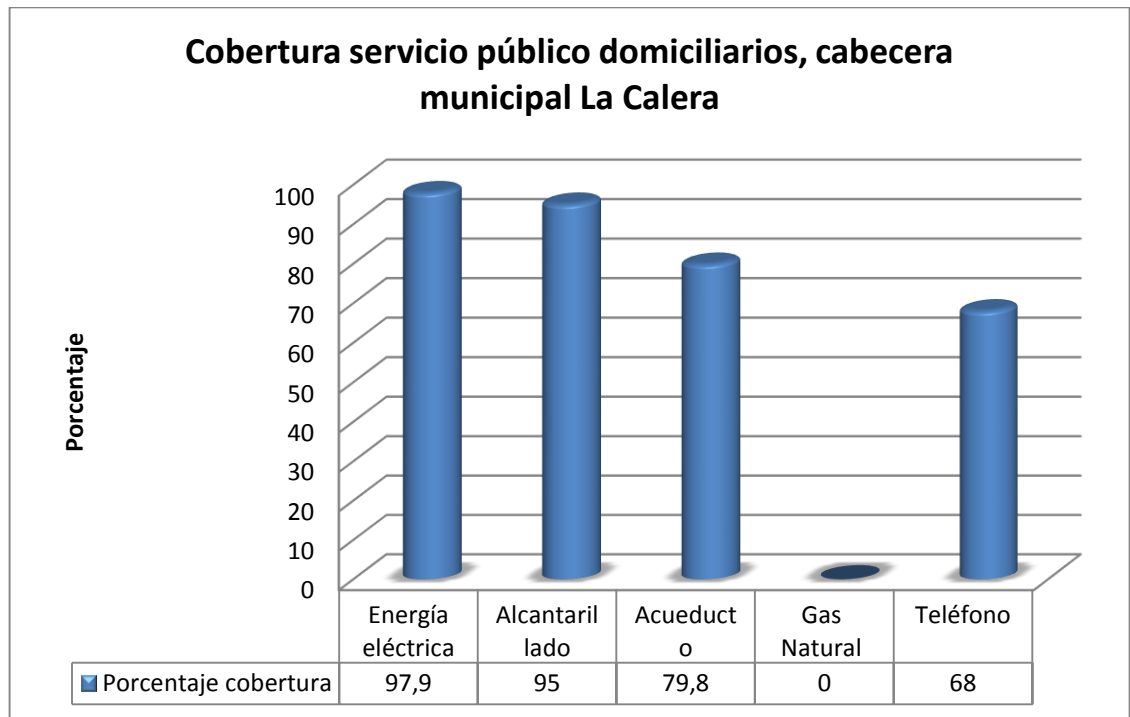
**Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR**

En el período del 2015 al 2020 es crecimiento es igual al 20,69%, siendo este el más bajo de los periodos estudiados.

**Servicios públicos.** El servicio público domiciliario de acueducto y alcantarillado es prestado por la Empresa de Servicios Públicos de La Calera (ESPUCAL ESP).

Según el DANE en el censo general del 2005, de un total de 6.416 viviendas, 5.121 tienen servicio de acueducto, lo que corresponde al 79,82% y 1.295 no cuentan con el servicio básico (20,18%).

**Gráfica 2. Cobertura de servicios públicos en la cabecera municipal de La Calera.**



Fuente: DANE. Censo año 2005

A partir de diciembre del 2011, el municipio cuenta con servicio de gas domiciliario

**Marco económico.** La economía del municipio se vio gravemente comprometida cuando se cerró una importante empresa cementera (SAMPER), ya que los ingresos de casi 3000 mil personas de la población provenían directa e indirectamente de esta. Hasta el presente la economía de La Calera no se reactiva y hay importantes índices de desempleo.

Sin embargo algunas empresas grandes como Manantial, Winter, Tecnoconcreto, Cemex, etc., están ubicadas en el municipio y generan algunos ingresos a este.

Además de esto La Calera cuenta con varios establecimientos comerciales pequeños manejados por sus propietarios, entre estos negocios hay farmacias, ferreterías, panaderías, tiendas de víveres y productos de primera necesidad, insumos agropecuarios, etc.

Los productos agrícolas principales de la región son la arveja, la cebolla, el frijol y la papa.

### **Marco ecológico.<sup>7</sup>**

**Orografía.** La calera se haya ubicado en el valle sobre el rio Teusacá. El municipio es atravesado en toda su extensión de sur a norte, por la cordillera oriental. Entre las ramificaciones de la cordillera se encuentra la de cruz verde cubriéndolo por el oriente y el occidente. La topografía es quebrada, se pueden notar las diferencias entre valles y colinas.

**Hidrografía.** Depende de las vertientes del Magdalena y el Meta. Se centra principalmente en las cuencas de los ríos Teusacá y Rio Blanco. El nacimiento del rio Teusacá está localizado en la Laguna del Verjón en el cerro de Monserrate y desemboca en el rio Funza. Los afluentes más importantes del rio Teusacá son: Hato, Marmaja, Carrizal, Cirujano , Siecha, Cara de Perro, Chocolatero, Siecha, Simayá y Aguas Claras.

Rio Blanco, Nace en la laguna de Buitrago en Guasca y desemboca en el río Negro. Sus afluentes son: La Marmaja, La Ramada, Calostros y Jaboncillo.

Las lagunas más importantes son La Brava, Los Patos y la de Buitrago.

**Geología.** Formación guaduas. La geología de La Calera está se divide en tres conjuntos; en el superior se encuentran gredas rojizas, azulosas, verdosas y moradas. En este conjunto también hay mantos de carbón, algunos de ellos que

---

<sup>7</sup> Alcaldía de La Calera – Cundinamarca.

se localizan en la base del conjunto son explotables. Hay además bancos de arenisca inestable de grano entre medio y grueso.

En el conjunto medio también denominado conjunto productivo se haya mantos de carbón, una gran cantidad de arenisca, cuya parte superior es arenisca Lajosa y la inferior arenisca la guía. En este conjunto se encuentran arcillas compactas, franjeadas y carbonáceas de color gris oscuro.

**Tabla 6. Aspectos socioculturales del municipio.**

La tasa bruta de natalidad en el municipio de La Calera es del 83,70% mientras que la tasa de mortalidad es del 13,5%.
La esperanza de vida al nacer en hombres es de 70,58 años y en mujeres de 76,62 años.
El 4,6% de la población de 5 años y más y el 3,4% de 15 años y más de La Calera no sabe leer ni escribir.
El 71,3% de la población urbana de 3 a 24 años asiste a un establecimiento educativo formal.
El 41,9% de las personas de 10 años y más de La Calera tienen estado conyugal soltero(a) y el 33,3% casado (a).
El 39,3% de la población residente en La Calera, ha alcanzado el nivel básica primaria; el 29,1% ha alcanzado secundaria y el 16,3% el nivel superior y postgrado, La población residente sin ningún nivel educativo es el 6,3%.
El Municipio de La Calera cuenta con 32 sedes educativas con 3.300 alumnos matriculados. La tasa de deserción escolar es del 3,29%. Los habitantes que tienen acceso a la educación superior son 10.503.
El total de estudiantes beneficiados con alimentación escolar son 2.072.
Un total de 5.712 niños son beneficiarios de programas de bienestar social entre ellos desarrollo cognitivo, psicomotor, afectivo social y actividades lúdicas.

Son reconocidos 9.493 adolescentes como miembros activos del municipio de La Calera.
572 habitantes mayores de 60 años están en el programa de generación de estilos de vida sanos y conductas de autocuidado de la salud como prevención de discapacidades y favorecer un envejecimiento saludable.
374 personas con problemas de discapacidad participan en los diferentes programas municipales.
13.219 mujeres en el municipio se encuentran en el programa de equidad e igualdad en el ejercicio de sus derechos, desarrollo personal y participación en los campos de la vida municipal.
58 familias desplazadas se atienden de forma integral en el Municipio de La Calera.
1.054 familias SISBEN 1 y 2 acceden a los programas de vivienda de índole nacional.
662 habitantes son incluidos en los programas de formación deportiva
En lo cultural se tiene tres infraestructuras consideradas como patrimonio cultural y material.

Fuente. DANE y CAR Cundinamarca.

### 3.1 PLAN DE SANEAMIENTO Y MANEJO DE VERTIMIENTOS

El PSMV del municipio de La Calera se hizo específicamente para su zona urbana, en este se definen y se priorizan las inversiones que debe hacer el municipio en los 10 años siguientes a la formulación del plan respecto a gestión de recursos, desarrollo de actividades y proyectos que se propusieron con la intención de reducir los vertimientos de aguas residuales generadas en el municipio, algunas de ellas vertidas directamente al río Teusacá sin tratamiento; también ampliar la cobertura del sistema de alcantarillado a un 100% de la población, servicio que actualmente es prestado al 94%, y de esta manera poder tratar todas las aguas residuales producidas en el municipio mejorando la calidad de las aguas que se vierten al río Teusacá. El PSMV es un instrumento primordial para planear y proyectar las acciones correctivas y preventivas para la gestión futura de vertimientos en La Calera, que involucra varias estrategias de manejo de aguas residuales según lo establecido por la autoridad ambiental.

El PSMV del municipio de La Calera está articulado con los objetivos y metas de calidad y uso definidos para la corriente, tramo o cuerpo receptor, el plan de ordenamiento territorial y plan de desarrollo municipal<sup>8</sup>.

**Tabla 7. Generalidades del sistema de alcantarillado.**

Topografía escarpada
Desarrollo urbanístico radial con respecto al centro de la población.
Sistema de alcantarillado subdividido en subcuencas es de tipo combinado con varias irregularidades que no permiten su correcto funcionamiento, el emisario final del alcantarillado transporta las aguas residuales a la PTAR La Calera.
La longitud total de las redes del alcantarillado es de 18,76 Km.

---

<sup>8</sup> PLAN DE SANEAMIENTO Y MANEJO DE VERTIMIENTOS MUNICIPIO DE LA CALERA

La red de alcantarillado recibe aportes de aguas residuales de las veredas La Popa y Altamar, de casas aledañas a la vía hacia la vereda San José y del interceptor paralelo a la quebrada La Toma.
Según el POT los proyectos de infraestructura vial y de servicios públicos construidos en al rededor del año 2009 no tuvieron en cuenta la separación de las redes de los dos sistemas (aguas lluvias y aguas residuales domésticas).
Los aportes de la quebrada La Toma (interceptada por el alcantarillado), aumentan la diferencia con respecto a la demanda de agua de ESPUCAL.
El sistema de alcantarillado recibe descargas de aguas residuales domésticas.

**Fuente. PSMV La Calera**

**Vertimientos de agua residual doméstica.** Según el plan de saneamiento y manejo de vertimientos del municipio existen tres vertimientos al río Teusacá y una descarga de tipo industrial del matadero municipal.

**Tabla 8. Vertimientos de agua residual domestica**

VERTIMIENTOS CASCO URBANO MUNICIPIO DE LA CALERA					
PUNTO	LUGAR	ESTADO	NORTE	ESTE	ALTURA
1	La plazuela parte baja - junto a urbanización remansos de Teusacá.	Va directo al río Teusacá.	1013302,488	1011849,973	2693
2	La portada	va directo al río Teusacá	1014215,041	1013329,138	2683
3	PTAR la Calera	Luego de PTAR, rio Teusacá	1014187,522	1014044,141	2670
4	Matadero Municipal.	Esta fuera de servicio desde diciembre de 2007	1014195,35	1014068,54	2672

**Fuente. PSMV – Municipio de La Calera. 2009**

En el casco urbano de la Calera los vertimientos que son considerados como industriales son los del matadero municipal y los de las estaciones de servicio, estos últimos cuentan con sistemas de separación de grasas antes de ser conectados al alcantarillado.

Los vertimientos Plazuela y La Portada muestran valores típicos de aguas residuales domésticas y presentan caudales pequeños, la PTAR obtiene en el tratamiento eficiencias del 85% en relación a DBO y SST. Todos los vertimientos del municipio son recibidos por el río Teusacá.

**Tabla 9. Resumen de proyectos, programas y actividades.**

<b>PROGRAMA</b>	<b>SUBPROGRAMA</b>	<b>PROYECTO</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
<b>Reposición</b>	Recolección y Transporte	Reparación de daños durante la operación y mantenimiento del servicio de Alcantarillado	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambio de tramos de colectores averiados</li> <li>2. Reparación de acometidas domiciliarias</li> <li>3. Reparación y construcción de sumideros</li> <li>4. Reparación y construcción de pozos</li> </ol>
<b>Rehabilitación</b>	Recolección y Transporte	Optimización de redes de alcantarillado	Construcción de los colectores recomendados en la primera fase del plan maestro de Alcantarillado
<b>Expansión</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recolección y Transporte</li> <li>2. Pretratamiento</li> <li>3. Tratamiento</li> </ol>	Plan Maestro Componente de Alcantarillado	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Construcción de los interceptores recomendados en la primera fase del plan maestro de alcantarillado.</li> <li>2. Estudios y Diseños meteorológicos, de sedimentos y topográficos de la quebrada La Toma.</li> <li>3. Construcción de las obras de canalización de la quebrada La Toma.</li> </ol>
<b>Fortalecimiento Institucional</b>		Desarrollo Institucional	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desarrollo de Políticas que den independencia al ente administrador de los servicios públicos a partir de la administración municipal.</li> <li>2. Fortalecimiento Institucional</li> </ol>

El problema más significativo según el PSMV del municipio de la Calera, es el alcantarillado de tipo combinado por tramos, en las partes altas del municipio, hay deficiencia de redes que conduzcan las aguas lluvias al sistema. Otro problema es que en eventos de precipitación se presenta por escorrentía superficial transporte de residuos sólidos que salen de vías sin pavimentar hacia los sumideros, ocasionando mal funcionamiento y complicaciones en el mantenimiento de los mismos, una de las recomendaciones que se hacen en el PSMV del 2009 es reemplazar los sumideros transversales por sumideros transversales auto limpiantes.

**Tabla 10. Objetivos y metas del PSMV.**

<b>PROGRAMA</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>META</b>
<b>REPOSICION</b>	Reposición de las redes de alcantarillado por terminación de su vida útil o por averías durante su funcionamiento.	Mejoramiento de la operación de las redes para prestar un mejor servicio a la comunidad afectada por los hundimientos de los corredores de las vías, por donde se encuentran las redes de alcantarillado.	100% en cubrimiento de redes
<b>REHABILITACION</b>	Simulación del comportamiento hidráulico de las redes de alcantarillado y diseño de los tramos críticos a partir de las área tributarias de alcantarillado primera fase del plan maestro de alcantarillado.	Mejoramiento del funcionamiento hidráulico del sistema de alcantarillado	100% de cubrimiento en redes
<b>EXPANSION</b>	Ampliación de la cobertura en redes de alcantarillado hasta las nuevas zonas de expansión del casco urbano y tratamiento de las aguas residuales	Ampliación de cobertura y eliminación de los 6 puntos de vertimiento logrando reducir la carga contaminante de las fuentes superficiales.	100% en cobertura de la población y 80% en reducción de carga contaminante
<b>FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL</b>	Recibir la PTAR A LA Autoridad Ambiental CAR para iniciar la operación y mantenimiento por parte del municipio.	Efectuar la operación y mantenimiento de la PTAR del municipio	Mantener la buena operación y funcionamiento de la PTAR

Fuente. PSMV – Municipio La Calera. 2009

**Metas de reducción.** La meta más importante es llevar los vertimientos a uno solo y al cual se le haga tratamiento previo a verterse al río Teusacá, para esto se dio un plazo en el PSMV de diez años que se cumplen en el 2019. Este único vertimiento por supuesto sería el de la PTAR La Calera. También se espera reducir la carga contaminante del vertimiento.

### **3.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, LA CALERA**

El sistema de tratamiento implementado en el municipio de La Calera tiene como objetivo principal evitar el deterioro del Río Teusacá. Allí se depositan las aguas residuales domésticas y no domésticas que se producen en el municipio.

Como objetivos específicos del sistema de tratamiento de agua implementado en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos es la remoción de DBO, sólidos suspendidos, patógenos, nitrógeno, fósforo, tensoactivos y pesticidas provenientes de los establecimientos comerciales y las viviendas del área urbana del municipio.

**Fotografía 1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Calera.**



Cuando se habla de sistemas de depuración de agua existen numerosas opciones y tecnologías diferentes que se deben evaluar a fin de encontrar cuál es la más adecuada en cuanto a características de los afluentes, capacidad del cuerpo receptor, presupuesto disponible, espacio disponible y capacidad operativa del municipio. De forma general se habla de pretratamiento, tratamiento primario,

tratamiento secundario y tratamiento terciario. La siguiente tabla muestra las generalidades de cada uno de ellos:

**Tabla 11. Tratamientos para aguas residuales.**

TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICAS
Pretratamiento	Tiene como objetivo remover del agua residual aquellos constituyentes que pueden causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores a que, en algunos casos, no pueden tratarse conjuntamente con los demás componentes del agua residual.
Tratamiento Primario	Se refiere comúnmente a la remoción parcial de sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos, mediante sedimentación u otros medios y constituye un método de preparar el agua para el tratamiento secundario. Por lo regular el tratamiento primario remueve alrededor del 60% de los sólidos suspendidos del agua residual cruda y un 35% a 40% de la DBO.
Tratamiento Secundario convencional	Se usa principalmente para la remoción de DBO soluble y sólidos suspendidos e incluye, por ello, los procesos biológicos de lodos activados, filtros percoladores, sistemas de lagunas y sedimentación.
Tratamiento Terciario Avanzado	Este supone, generalmente, la necesidad de remover nutrientes para prevenir la eutrofización de las fuentes receptoras o de mejorar la calidad de un efluente secundario con el fin de adecuar el agua para su reúso.

Fuente: ROMERO, Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales. Bogotá D.C. Escuela Colombiana de Ingeniería. 199, pag. 1047.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de La Calera fue construida para llevar a cabo tratamientos preliminares y secundarios antes de verter sus efluentes al río Teusacá.

El caudal de diseño de la PTAR fue de 32 L/s teniendo como base una proyección de población de 21,338 habitantes en la cabecera municipal en el año 2020.

**Tabla 12. Características del afluente de la PTAR de La Calera.**

Población urbana conectada al Alcantarillado	Producción Media de Aguas Residuales Qmd	Afluencia Media de Aguas Residuales de la PTAR	Carga Orgánica Afluente a la PTAR
Habitantes	L/s	L/s	kg DBO / día
8,83	30,13	29,20	414,05

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Cartilla de Referencia para la operación y mantenimiento de la PTAR de La Calera. Bogotá: CAR, 2006.

Por otro lado, en el Numeral 4, Artículo 28 del Acuerdo 58 de 1987 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, para el ordenamiento del recurso hídrico de la cuenca del río se establecen las condiciones que deben cumplir los efluentes vertidos sobre Río Teusacá.

Así que el sistema de tratamiento implementado debe cumplir con los procesos necesarios para mantener en todo momento los efluentes con los parámetros por debajo de los máximos permisibles, estos son:

**Tabla 13. Condiciones para los efluentes vertidos al Río Teusacá.**

Tramo/clase	DBO	Oxígeno Disuelto	pH	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
Cuenca del río Teusacá desde su cabecera hasta el casco urbano de La Calera. Clase A	5,0mg/L	6,0mg/L-O <sub>2</sub>	6,5-9,0	5000 NMP/100mL	1000 NMP/100mL
Cuenca del Río Teusacá desde el casco urbano de La Calera hasta el Río Bogotá. Clase B.	16,0 mg/L	>6,0mg/L-O <sub>2</sub>	6,5-9,0	5000 NMP/100mL	1000 NMP/100mL

Fuente: Consorcio AQUAVIP. Memoria Técnica – Planta de Tratamiento de La Calera. Bogotá.

Para las condiciones de afluentes y efluentes de la PTAR se definió como tecnología más apropiada el uso de reactores SBR. A continuación se explica brevemente sistema adoptado.

### **3.2.1 Pretratamiento**

El agua afluente a la PTAR llega a través de una tubería de 24 pulgadas, luego es medida constantemente a través de una regleta puesta en uno de los costados de la canaleta Parshall ubicada en la entrada de la planta.

La etapa de pretratamiento dentro de la PTAR está encaminada a la separación de material flotante grueso en mediante unas rejillas de cribado elaboradas en acero inoxidable. El retiro del material atrapado en las rejillas se hace de forma manual por el operario.

El material retirado se pone a secar en una estructura de concreto dispuesta para tal fin, los lixiviados caen a una de las cajas del sistema de distribución de la PTAR para asegurar que no haya contaminación del suelo o las corrientes de agua superficiales cercanas.

Los sólidos secos son dispuestos en un relleno ubicado en el lote de la PTAR donde, además de lo recolectado en las rejillas de cribado, se disponen las arenas resultantes de los desarenadores y el material retirado en la construcción de las celdas del mismo relleno.

**Fotografía 2. Etapa de pretratamiento de la PTAR.**



Luego del paso por las rejas de cribado, el agua pasa a la zona de desarenadores. La PTAR cuenta con dos unidades en paralelo, equipadas con compuertas, que permiten la operación en paralelo y la realización de labores de mantenimiento sin suspender la operación de la planta o la operación simultánea en caso de presentarse alguna contingencia.

Después del pretratamiento el agua pasa a través de tuberías de 16 pulgadas a la zona de reactores y digestor.

### **3.2.2 Reactores SBR**

La segunda etapa para la depuración de las aguas residuales del casco urbano del municipio consiste en un sistema de tratamiento secundario través de dos (2) reactores SBR contruidos en concreto, de forma rectangular, de 18,6 metros de longitud, 13,4 metros de ancho y una profundidad total de 7 metros. El agua llega allí a través de tuberías metálicas de 16 pulgadas con la posibilidad de llenar uno o los dos reactores al tiempo dándole mayor versatilidad y capacidad de operación a la PTAR. Sin embargo, la mayor parte del tiempo el sistema trabaja de forma alternada.

**Fotografía 3. Reactor SBR**



En el fondo de cada reactor se encuentran cuatro (4) aireadores de burbuja fina y un mezclador superficial que garantizan una buena distribución de aire a través de la mezcla agua-lodo y mantiene unas condiciones apropiadas para los procesos allí desarrollados. En la parte inferior de la edificación se encuentra el cuarto de máquinas donde se ubican los tres (3) compresores disponibles para el aireado de los reactores, son compresores con una descarga promedio de 9,4 PSIG y un consumo de 60 HP, se utilizan dos compresores a la vez y se deja uno en stand By. Además los reactores cuentan con un clarificador flotante que permite retirar el sobrenadante sin importar el nivel de llenado del tanque reactor.

**Fotografía 4. Compresores para el aireado en los reactores SBR.**



Actualmente los reactores de la PTAR trabajan en 5 etapas que se listan a continuación:

**Tabla 14. Tiempos de operación de cada reactor SBR.**

<b>Etapas</b>	<b>Tiempo (horas)</b>
Llenado Reactor SBR	5
Reposo	1
Reacción (aireación)	1
Decantación de lodos	2
Vaciado del reactor	3

Fuente: Información suministrada por los operarios de la PTAR.

De los reactores el agua es conducida mediante tuberías al sistema de alcantarillado interno de la PTAR y de ahí al punto de descarga en el Río Teusacá.

**Fotografía 5. Descarga de efluentes al Río Teusacá.**



Cuando la mezcla agua – lodos tiene una cantidad de sólidos sedimentables igual o superior a 350 mL/L estos son conducidos a través de una bomba sumergible ubicada en cada uno de los reactores hasta el digestor de lodos.

### **3.3 MANEJO ACTUAL DE BIOSÓLIDOS**

Actualmente no existe un plan estandarizado para el manejo de biosólidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio, no se tiene cuantificada de manera exacta la producción de lodos ni las cantidades de insumos usadas para la estabilización; aún no se han seguido las recomendaciones del Decreto 1287 de 2014 ni se ha evaluado la posibilidad de establecer un plan de aprovechamiento energético de los lodos. Sin embargo, se obtienen buenos resultados en cuanto a la calidad fisicoquímica de los biosólidos.

El proceso de degeneración de los biosólidos comienza con la entrada de agua residual afluyente a uno de los reactores SBR a través de una tubería de 16 pulgadas conforme se describió en el numeral 2.2., allí se llevan a cabo los procesos de decantación, aireación y decantación de lodos tal y como se describió anteriormente.

**Fotografía 6. Entrada de aguas residuales al PTAR.**



El agua permanece en el reactor acorde a los tiempos listados en la Tabla 10, el operario de la PTAR monitorea una o dos veces por turno la cantidad de sólidos sedimentables del reactor que esté en operación utilizando un cono Imhoff. El procedimiento consiste en sacar una muestra de agua de la superficie del reactor utilizando un balde de plástico y un lazo, adiciona un litro de muestra al cono y espera una hora hasta la decantación de los lodos.

El valor de la cantidad de sólidos sedimentables en la mezcla agua residual – lodos activados es el indicador para pasar los lodos del reactor al biodigestor para mantener una operación adecuada. Si la cantidad de sólidos es igual o superior a 350 mL/L se deben pasar parte de los lodos al biodigestor para continuar con el proceso.

**Fotografía 7. Toma de muestra para medición de los sólidos sedimentables.**



**Fotografía 8. Medición de sólidos sedimentables usando como Imhoff.**



En el biodigestor los lodos permanecen durante 20 días aproximadamente aunque el tiempo está sujeto a la necesidad de pasar lodos desde uno de los reactores SBR.

**Fotografía 9. Biodigestor, PTAR La Calera**



Luego de ese tiempo, y a través de un sistema de bombas sumergibles dentro del reactor, los lodos se transportan hasta los lechos de secado ubicados a un costado de la planta de tratamiento. Actualmente se cuenta con una estructura con 16 compartimentos para el secado de lodos. Cabe anotar que la cantidad de lodos producidos es tan baja que los lechos de secado son excesivos para la producción actual.

**Fotografía 10. Lechos de secado de lodos.**



Los lechos de secado están cubiertos con tejas plásticas que aparte de protegerlos de la lluvia aumentan la temperatura interna del sitio para favorecer el secado. Los lodos permanecen en los lechos el tiempo necesario para que sea evidente su secado, actualmente se dejan ahí alrededor de dos meses.

**Fotografía 11. Lodos secos.**



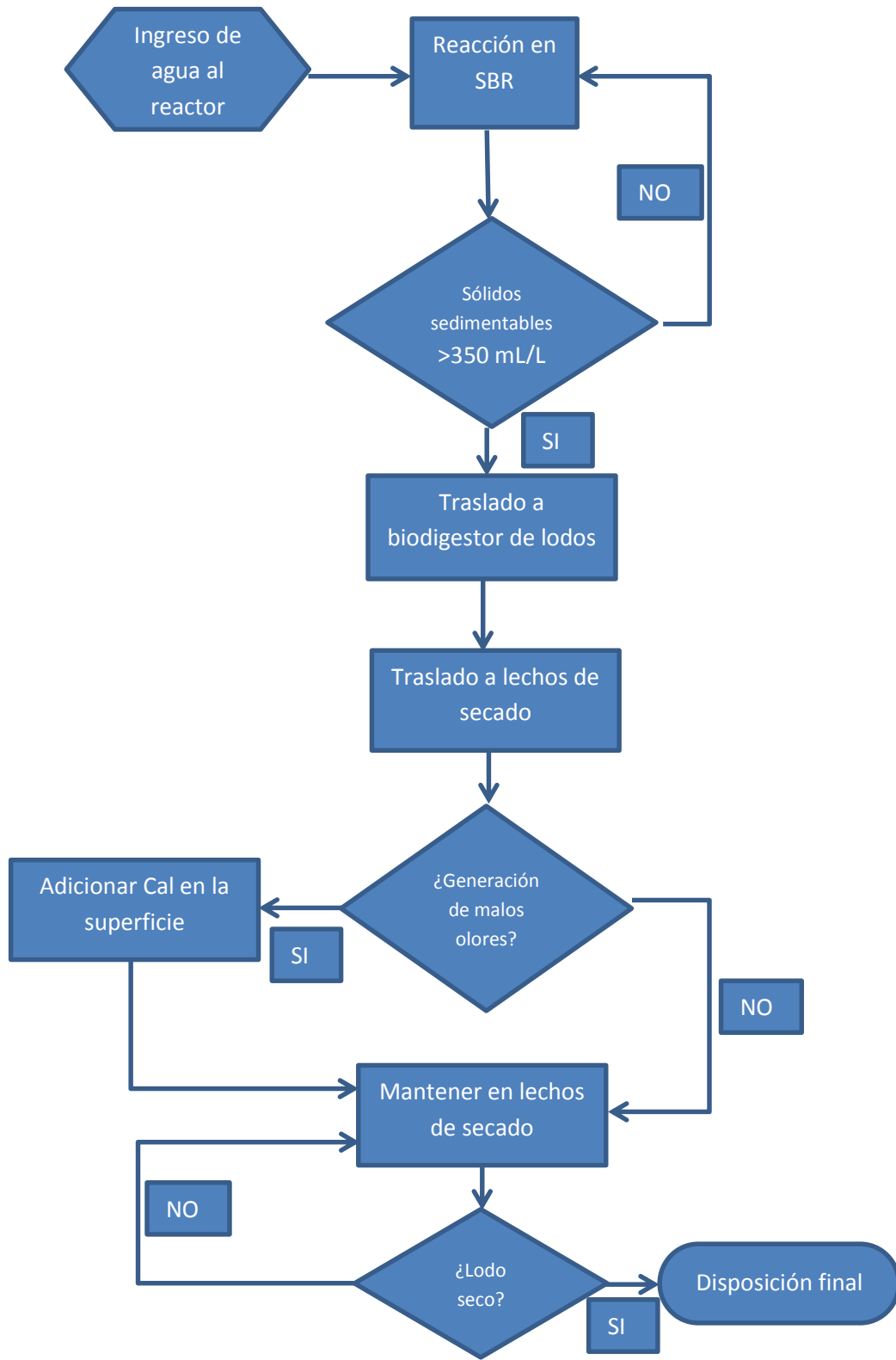
Cuando los lodos dentro de los lechos empiezan a generar malos olores, el operario de turno les adiciona cal en la superficie para evitar la atracción de vectores y la proliferación de patógenos.

**Fotografía 12. Disposición final actual de los biolodos.**



La producción actual de biosólidos está estimada en **80 kilogramos por mes** aproximadamente.

Gráfica 3. Proceso actual de manejo de lodos.



## 4 PLAN DE MANEJO DE BIOSÓLIDOS

### 4.1 ESTABILIZACIÓN

Los biosólidos generados en la PTAR que reporten valores por encima de los máximos permisibles para las Categorías A y B según la Tabla 2, Artículo 5 del decreto, debe ser objeto de procesos de disposición final conforma a lo estipulado en el Parágrafo 2 del mismo artículo. Las formas de disposición contempladas son:

- a. En la operación de rellenos sanitarios como cobertura diaria.
- b. En la disposición conjunta con residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios y de manera independiente en sitios autorizados.
- c. En procesos de valoración energética.

Sin embargo, lo ideal es implementar un método de estabilización, acorde a las condiciones actuales del municipio, la PTAR y su funcionamiento, que produzca biosólidos de tal calidad que puedan ser utilizados en alguno de los posibles usos que contempla la norma en su Artículo 8 y no tener como única alternativa la disposición. Como se describe en el numeral 3.3., de este documento los biosólidos analizados en la PTAR no cumplen con los máximos permisibles a nivel microbiológico respecto a la referencia normativa y se actualmente se tiene como única alternativa una mala disposición de los biosólidos tal como se ve en la Fotografía 12.

En este capítulo se presenta una alternativa de estabilización, o mejor, una mejora del proceso actual de estabilización que deberá ser evaluada por el personal de las Empresas Públicas de La Calera ESPUCAL E.S.P. a fin de determinar su

viabilidad técnica y financiera conforme al presupuesto actual y proyectado de la PTAR, la disponibilidad de equipos y personal capacitado para implementar los procesos sugeridos en este documento.

La EPA estableció en su documento “*Biosolids. Generation, use, and disposal in the United States*” de septiembre de 1999 cuatro procesos de estabilización de lodos, que proporciona biosólidos de diferente calidad y con opciones de uso diferentes, en la siguiente tabla se muestran estas alternativas.

**Tabla 15. Tecnologías de Estabilización y Usos asociados.**

<b>TECNOLOGÍAS DE ESTABILIZACIÓN, USOS ASOCIADOS O MÉTODOS DE DISPOSICIÓN</b>	
<b>TRATAMIENTO O PROCESO</b>	<b>USO O METODO DE DISPOSICION</b>
<b>Tratamiento Aeróbico o Anaeróbico (Digestión).</b>	Produce biosólidos utilizados para rehabilitación del suelo y abonos orgánicos para pastizales, cultivos, bosques y sitios de recuperación; se puede combinar con un tratamiento adicional, como la deshidratación. (Dos o más procesos se utilizan a menudo para el tratamiento de biosólidos (por ejemplo, la digestión anaeróbica con deshidratación y compostaje).
<b>Tratamiento Alcalino.</b>	Produce biosólidos útiles para la aplicación al suelo y para cobertura de rellenos. Son procesos muy eficientes en la eliminación de microorganismos.
<b>Compostaje.</b>	Produce suelos-biosólidos altamente orgánicos, con propiedades de acondicionamiento para la horticultura, viveros , y usos paisajísticos.
<b>Térmico - Secado / Peletizado.</b>	Produce biosólidos para fertilizantes, generalmente son usados en menor proporción debido a que se incurre en mayores costos y poseen altos contenidos de nitrógeno.

Fuente: Biosolids. Generation, use, and disposal in the United States. EPA530-R-99-009  
Sep. 1999

Sin embargo, el Decreto 1287 de 2014 va un poco más allá en materia de ensayos y procesos de estabilización de biosólidos y en el Anexo 1 presenta 9 alternativas diferentes llamados *“REQUERIMIENTOS PARA LA REDUCCIÓN DE LA CAPACIDAD DE FERMENTACIÓN, ATRACCIÓN DE VECTORES Y PATÓGENOS”*, éstos son:

### **ENSAYOS:**

**Opción 1: Reducción del contenido de sólidos volátiles.** Reducir mínimo a un 38% el contenido de sólidos volátiles en los lodos, mediante digestión aeróbica o anaeróbica. Para biosólidos generados en lagunas de tratamiento, la reducción será calculada y comparada, a partir de los sólidos volátiles presentes en el agua, en el afluente a la planta.

**Opción 2: Digestión adicional de los lodos digeridos anaeróbicamente.** En el caso de que no resulte factible reducir al 38% el contenido de sólidos volátiles mediante la Opción 1, se deberá demostrar en una unidad a escala de laboratorio, que una porción de los biosólidos, que previamente fueron digeridos, con una digestión anaeróbica por cuarenta (40) días adicionales, a una temperatura entre 30°C y 37°C, su reducción del contenido de sólidos volátiles es menor de 17%.

**Opción 3: Digestión adicional de los biosólidos digeridos aeróbicamente.** Esta prueba solamente es aplicable a los biosólidos con alto contenido de humedad digeridos aeróbicamente. Se considera que los biosólidos digeridos aeróbicamente con 2% de sólidos o menos, han logrado la reducción de atracción de vectores si después de treinta (30) días de digestión aeróbica en una prueba de laboratorio a 20°C, su reducción del contenido de sólidos volátiles es menor de 15%.

**Opción 4: Tasa específica de absorción de oxígeno (TEAO) para biosólidos digeridos aeróbicamente.** Esta prueba solamente es aplicable a los biosólidos con alto contenido de humedad, o sea aquel que puede comportarse como un

líquido, los cuales han sido digeridos aeróbicamente. Se demuestra si la TEAO de los biosólidos que son aplicados, determinada a 20°C, es igual o menor de 1,5 mg de O<sub>2</sub>/hora - g de sólidos totales (base seca).

## **PROCESOS:**

**Opción 5: Procesos aeróbicos a más de 40°C.** Aplica primordialmente a biosólidos compostados que contienen agentes abultadores orgánicos parcialmente descompuestos. Los biosólidos deben ser tratados aeróbicamente por catorce (14) días o más, tiempo durante el cual la temperatura deberá rebasar siempre los 40°C y el promedio deberá ser mayor de 45°C.

**Opción 6: Adición de materia alcalina.** Adicionar suficiente materia alcalina para:

- Eleva el pH hasta por lo menos el valor de 12, a 25°C, y, sin añadir más materia alcalina, mantenerlo por dos (2) horas; luego
- Mantener el pH por lo menos en 11,5 sin la adición de más materia alcalina durante otras veintidós (22) horas.

**Opción 7: Reducción del contenido de humedad en biosólidos que no contienen sólidos sin estabilizar.** Incrementar el contenido de sólidos al 75% en los biosólidos cuando estos no contienen lodos no estabilizados del tratamiento primario. En el caso de que los biosólidos contengan lodos no estabilizados del tratamiento primario, se debe incrementar el contenido de sólidos al 90%. El incremento en el contenido de sólidos debe conseguirse removiéndoles agua y no mediante la dilución con sólidos inertes.

## **Aplicación:**

**Opción 8: Inyección de biosólidos al suelo.** Inyectar los biosólidos por debajo de la superficie del terreno, de tal manera que no se observe encharcamiento sobre la superficie una (1) hora después de la inyección. Si los biosólidos son categoría A con respecto a patógenos, deben ser inyectados dentro de las ocho (8) horas siguientes al descargue para su aplicación.

**Opción 9: Incorporación de biosólidos al suelo.** Incorporar al suelo los biosólidos dentro de las seis (6) horas posteriores a su descarga o aplicación sobre el terreno. La incorporación se consigue arando o mediante algún otro método que mezcle los biosólidos con el suelo. Si los biosólidos son categoría A con respecto a patógenos, el tiempo entre la aplicación y el procesado no debe exceder de las ocho (8) horas al igual que en el caso de la inyección.

### ***Propuesta de estabilización de Biosólidos***

Como se verá en el numeral 3.3 de este documento, la caracterización realizada muestra que el biosólido analizado incumple con los máximos permisibles para los parámetros microbiológicos incluidos en la norma.

Entonces se deben plantear ajustes a los procedimientos actuales en materia de estabilización de biosólidos con miras a garantizar en éstos una calidad tal que permitan su aprovechamiento.

El Decreto 1287 entrega 9 opciones diferentes de ensayos, estabilización y aplicación de los lodos resultantes de los reactores SBR en la planta de tratamiento, entonces es clave revisar uno por uno para determinar cuál de éstos es viable para las condiciones de infraestructura actuales.

Debido a los equipos y la infraestructura que se tiene en la PTAR se llevan a cabo los procesos descritos en las **opciones 1 y 6**, Anexo 1, del decreto, sin embargo es necesario hacer ciertas modificaciones para mejorar las condiciones microbiológicas de los biosólidos actualmente generados.

***Opción 1. Digestión aeróbica o anaeróbica.***

Esta opción plantea una reducción de sólidos volátiles de los lodos a través de procesos de digestión aeróbica y anaeróbica, se da como valor deseable un 30% de este parámetro.

La eficiencia con que se lleve a cabo este proceso en el biodigestor aeróbico de la planta depende en gran medida de las condiciones con que pasen los lodos desde los reactores SBR y éstas, a su vez, del cumplimiento a cabalidad de las condiciones de diseño.

En la tabla 14 se muestran los tiempos empleados en el reactor SBR bajo las condiciones actuales de operación según lo indicado por los operarios de la planta. Por otro lado, en la gráfica 4 se pueden ver los tiempos definidos en el diseño de la PTAR.

**Gráfica 4. Ciclos de reactor SBR.**

El siguiente segmento de proceso ha sido determinado específicamente para esta aplicación basada en una combinación de datos empíricos y establecidos en modelos adaptados para el AquaSBR. Lo siguiente resalta las condiciones de proceso:

No. De Ciclos (Ncdb)	= 5	E) Mezcla (Tmix)	= 2.98 Horas/Ciclo
Tiempo Total Ciclo (Tc)	= 4.8 Horas	F) Asentamiento (Tset)	= 0.75 Horas/Ciclo
Tiempo/Ciclo Llenado (Tf)	= 2.4 Horas	G) Decantación (Tdec)	= 1.07 Horas/Ciclo
Tiempo de Aireación (Taire)	= 2.4 Horas/Ciclo	H) Lodos Residual (Tslg)	= 8.24 Minutes/Ciclo

**Fuente: Escáner de Memoria técnica: Diseño de la Planta de Tratamiento de aguas Residuales de La Calera.**

Se puede ver que los tiempos de operación tienen diferencias entre los contemplados en el diseño y los manejados en la operación actual. En el análisis que se está llevando es de suma importancia el tiempo de aireación y reacción por su relación con la calidad de los biosólidos generados.

*Teóricamente se estableció un tiempo de reacción de 2,4 horas por ciclo, muy por encima de la hora que se usa actualmente disminuyendo de esta forma el Tiempo de Retención Hidráulico y la eficiencia de los reactores.*

Luego es necesario revisar las condiciones de operación actuales del biodigestor con respecto a la base de diseño del sistema. Según las informaciones suministradas en las visitas de campo realizadas, los lodos permanecen en el digestor durante 20 días; en la Gráfica 5 se pueden ver las bases de diseño de digestor y también hay un déficit en el tiempo de retención.

**Gráfica 5. Valores de diseño para el biodigestor.**

<b><u>VALORES DE DISEÑO</u></b>		
<b>Tiempo de Retención/Almacenamiento</b>	= 26.3 días	
<b>Temperatura de Diseño</b>	= 68 F	20 C
<b>Fracción de Sólidos Volátiles Esperada</b>	= 44.00%	
<b>Capacidad Concentración de Sólidos</b>	= 2.00%	
<b>Consumo de O2 para Destrucción de VSS</b>	= 2 lb.O2/lb.VSS Destruído	
<b>Disponibilidad de O2 (% O2)</b>	= 100.00% O2 Suministrado por tanque	

Según la base de cálculo del digestor se espera una fracción de sólidos volátiles de salida de un 44,00%, razón por la cual se puede concluir que no es posible conseguir el 38% pedido en la opción planteada en el decreto.

Cabe anotar que el aumento de la eficiencia del reactor y la disminución en la fracción de sólidos volátiles es susceptible de evaluar a futuro en un estudio riguroso.

Entonces, con la infraestructura actual solo es factible llevar a cabo la estabilización con material alcalino.

### ***Opción 6. Adición de materia alcalina.***

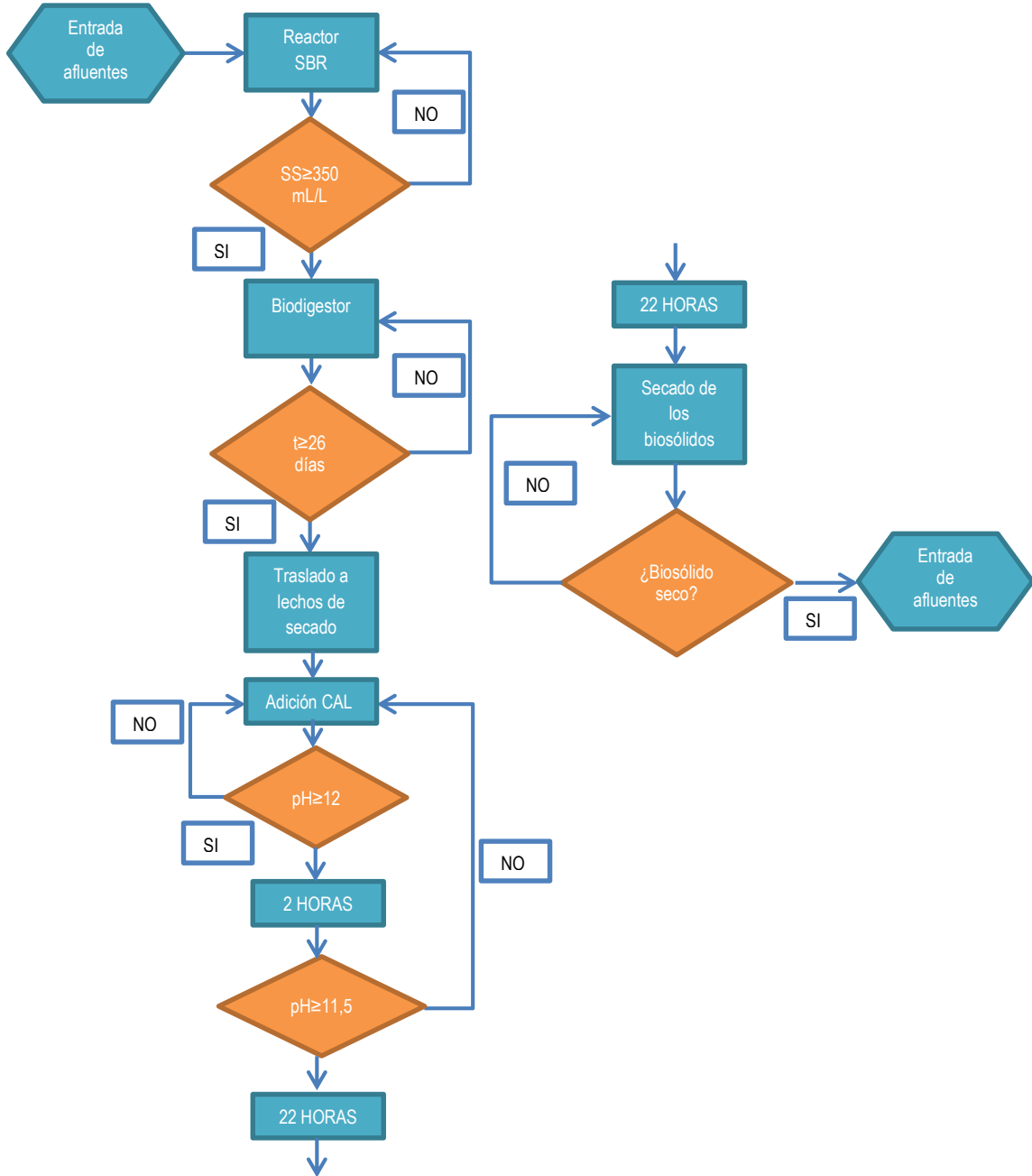
Actualmente se lleva a cabo un procedimiento de adición de álcali para evitar la atracción de vectores y la generación de malos olores; sin embargo, se hace sin cuantificar las cantidades, establecer los tiempos exactos ni hacer mediciones. El procedimiento llevado a cabo actualmente se describió en el numeral 2.3 de este documento. Entonces, es clave estandarizar el proceso de estabilización de los biosólidos para cumplir con lo requerido en el decreto y para evaluar si mediante este procedimiento es posible mejorar la calidad del biosólido conseguido y caracterizado.

El procedimiento propuesto para la estabilización comprende los siguientes pasos:

- Reacción en los tanques SBR hasta que la concentración de sólidos sedimentables sea de 350 mL/L, tal y como se hace actualmente. Sin embargo, valdría la pena cumplir los tiempos de diseño de los reactores, es decir, 2,4 horas de reacción.
- Traspaso de los lodos al biodigestor de la misma manera que se hace actualmente.
- Reacción en el digestor durante 26 días según la base de diseño.
- Paso de los biosólidos a los lechos de secado.
- Adición de cal, mezcla y medición de pH para garantizar un valor mínimo de 12 unidades a temperatura ambiente.
- Mantener las condiciones por 2 horas sin añadir más cal.
- Mantener el pH alrededor de 11,5 unidades durante 22 horas.
- Dejar secar el biosólido normalmente.
- Retirar el biosólido de los lechos de secado.
- Cuantificar los biosólidos producidos.
- Caracterizar una muestra con laboratorios certificados.
- Usar según resultado de la caracterización y conforme al Artículo 5 del Decreto 1287 de 2014.

A continuación se presenta un diagrama de flujo de la propuesta.

**Gráfica 6. Diagrama de flujo, propuesta de manejo de biosólidos.**



## 4.2 CUANTIFICACIÓN

Es recomendable que la Empresa de Servicios Públicos de La Calera, ESPUCAL E.S.P., adquiera equipos para la medición del peso de cada lote de producción de biosólidos para mantener un registro y cumplir con la normatividad.

Tal y como se verá en el apartado siguiente, la cantidad de biosólidos producida determinará la cantidad de caracterizaciones anuales necesarias y por ende los costos asociados a los ensayos de laboratorio.

## 4.3 CARACTERIZACIÓN

Después de la estabilización, el secado y la cuantificación de los biosólidos generados en la PTAR es necesario realizar la caracterización de una muestra para poder decidir qué tipo de uso es permitido. Cabe anotar que según el Artículo 17 del Decreto 1287 de 2014 la frecuencia con que se realizan los análisis de laboratorio depende directamente de la cantidad de biosólidos producidos en la PTAR. Entonces se tiene:

**Tabla 16. Frecuencia de caracterización de biosólidos.**

<b>Producción de biosólidos Ton/año (base seca)</b>	<b>Frecuencia mínima de análisis</b>
<300,0	Anual
300,0 – 1.500,0	Semestral
1.500,0 – 15.000,0	Trimestral
>15.000,0	Mensual

Fuente: Decreto 1287 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

La producción de biosólidos en la PTAR de La Calera es de 80 kg aproximadamente según lo informado por el personal de ESPUCAL E.S.P., entonces se tiene un estimado de tan sólo 960 kg de biosólidos por año en base húmeda. Por ende, para usos diferentes al agrícola se tiene una frecuencia mínima de caracterización de una muestra anual para dar cumplimiento a la normatividad. Por otro lado, si conforme a la caracterización se tienen las condiciones para usar el biosólido en el área agrícola es necesario hacer muestreos por cada lote de producción.

La caracterización debe llevarse a cabo con laboratorios certificados para los parámetros incluidos en el Decreto y el tipo de certificación depende de la entidad a la cual se le va a enviar los resultados. El Artículo 17 del Decreto también establece los métodos de muestreo y caracterización de las muestras para garantizar resultados confiables a las autoridades competentes.

Cuando los resultados van a ser utilizados para un trámite ante la autoridad ambiental, los métodos aceptados para la caracterización son los reconocidos internacionalmente (EPA, ASTM, APHA – AWWA – WEEF – Estándar Methods, NTC, ISO y los que define el IDEAM para el tema de biosólidos), mientras que para usos agrícolas se deben realizar análisis con base en los métodos del Instituto Colombiano Agrícola, ICA.

Para el caso de este trabajo se optó por realizar las caracterizaciones con laboratorios acreditados ante el IDEAM, sin embargo fue muy complicado conseguir laboratorios acreditados para los análisis de biosólidos.

Para determinar los posibles usos o ajustes necesarios para el aprovechamiento de los biosólidos de La Calera se llevó a cabo una caracterización fisicoquímica y microbiológica de una muestra de 600 gramos tomada posterior al secado y estabilización.

Se tomaron las muestras y se empacaron en bolsas de cierre hermético, las tres bolsas se embalaron en una nevera de icopor con hielo en su interior para cumplir con los requisitos de muestreo dictadas por los laboratorios contratados.

**Fotografía 13. Transporte de las muestras analizadas.**



Se entregaron 200 gramos de la muestra al laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Los Andes donde se llevó a cabo el análisis fisicoquímico del biosólido, los resultados obtenidos y su comparación con los parámetros de la Tabla 2, artículo 5 del decreto son los siguientes:

**Tabla 17. Caracterización físico química de la muestra.**

Parámetro	Unidades	Muestra	Decreto 1287/2014	
			Categoría A	Categoría B
<b>Humedad</b>	%	18,34	N/A	N/A
<b>Sólidos totales</b>	%	81,66	N/A	N/A
<b>Arsénico</b>	mg/kg.b.s.	<5,21	20,0	40,0
<b>Cadmio</b>	mg/kg.b.s.	5,79	8,0	40,0
<b>Cobre</b>	mg/kg.b.s.	108	1.000,0	1750,0
<b>Cromo</b>	mg/kg.b.s.	28,7	1.000,0	1500,0
<b>Mercurio</b>	mg/kg.b.s.	<1,72	10,0	20,0
<b>Molibdeno</b>	mg/kg.b.s.	N.D.	18,0	75,0
<b>Níquel</b>	mg/kg.b.s.	16,4	80,0	420,0
<b>Plomo</b>	mg/kg.b.s.	31,3	300,0	400,0
<b>Selenio</b>	mg/kg.b.s.	<3,57	36,0	100,0
<b>Zinc</b>	mg/kg.b.s.	902	2.000,0	2800,0

mg/kg.b.s. = miligramos por kilogramo en base seca

N.D. = Ensayo no disponible en la Universidad de los Andes.

Fuente: Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes

Como se puede ver en la tabla anterior, la muestra analizada tiene niveles de metales muy bajos debido a la ausencia de industrias de alto impacto que contribuyan con ese tipo de contaminantes. Entonces respecto a la calidad fisicoquímica del biosólido analizado se puede clasificar como Categoría A, lo cual da un margen de posibles usos muy amplio que se describirán más adelante.

Para la caracterización microbiológica se llevaron 400 gramos de la misma muestra al Laboratorio de Aguas de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

**Tabla 18. Caracterización microbiológica de la muestra.**

Parámetro	Unidades según Decreto 1287/2014	Muestra	Decreto 1287/2014	
			Categoría A	Categoría B
<b>Coliformes fecales</b>	UFC/g b.s.	313'412,683*	<1,00 E(+3)	<2,00 E(+6)
<b>Huevos de Helmintos Viables</b>	H.E.V./4g b.s.	36**	<1,0	<10,0
<b>Salmonella sp.</b>	UFC/25g b.s.	4,23***	Ausencia	<1,00 E(+3)
<b>Virus Entéricos</b>	UFC/4g b.s.	N.D.	<1,0	-

Fuente: Laboratorio de Aguas de la EAAB.

\*El valor reportado en la tabla corresponde a 313'412,683 NMP/g.

\*\*Valor calculado, el análisis de laboratorio reportó 18 H.E.V./2 g b.s.

\*\*\*Valor reportado como NMP/g ST, dato no concuerda con las referencias del Decreto 1287 de 2014.

UFC/g b.s. = Unidades Formadoras de Colonias por gramo en base seca.

H.E.V./4g b.s. = Huevos de Helmintos Viables por cada 4 gramos en base seca.

En este punto se presentaron varios problemas para el desarrollo del proyecto; sumado a la poca disponibilidad de laboratorios que determinen contenidos de metales y microorganismos en biosólidos, se tiene una diferencia entre los métodos usados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y los que tiene como referencia el Decreto 1287.

Como se puede ver en la tabla 18 y en los anexos, los resultados presentados por la EAAB tienen unidades diferentes a las de la norma. Y como se ve en la tabla 17 la Universidad de los Andes no realiza ensayos de Molibdeno para biosólidos.

El párrafo 2 del Artículo 5 de la norma establece los usos que se pueden dar a los biosólidos según los resultados de la caracterización, teniendo como base los resultados de las tablas 17 y 18 en el siguiente capítulo se describirán los usos posibles bajo las condiciones actuales. Además, se describirán los posibles usos para el biosólido de la PTAR de La Calera si se logran estandarizar los procesos, adquirir los equipos y adecuar la infraestructura para las opciones descritas en el numeral 3.1 de este documento

Según el párrafo 3 del Artículo 5 de la norma: *“Para prevenir la distribución y uso de material que no cumpla con los valores máximos permisibles definidos en la Tabla 2 del presente decreto, el productor deberá establecer y aplicar un mecanismo de correlación entre la caracterización de las aguas residuales afluentes y la caracterización de los biosólidos. Cuando se detecte la presencia anómala de sustancias de interés sanitario en las aguas residuales afluentes, se aplicarán las medidas previstas en el plan de prevención y gestión del riesgo.”*

Desafortunadamente en el momento del desarrollo de esta monografía no se tenían disponibles los resultados de la caracterización de efluentes del mes de febrero de 2015 para hacer la correlación con los resultados de las muestras de biosólidos. Sin embargo para poder establecer una correlación con un mínimo de confianza es necesario realizar más caracterizaciones de los lodos.

Cabe anotar que la realización de esta correlación solo es necesaria si se van a usar los biosólidos para los usos correspondientes a Categoría B, Artículo 8 del decreto.

#### 4.4 ALTERNATIVAS DE USO

De acuerdo a las condiciones actuales del biosólido generado en la planta, se tiene un producto que no cumple los valores máximos permisibles de categorización para su uso quedando por fuera de las Categorías A y B; siendo así, se tienen las siguientes alternativas de uso para cumplir con lo dispuesto en el Artículo 5, Parágrafo 2 del Decreto 1287 de 2014 sin hacer ningún tipo de tratamiento:

- Como cobertura diaria en operación de rellenos sanitarios
- Disposición en sitios autorizados, o
- Disposición simultánea con los residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios.
- Procesos de valorización energética.

Para su uso como cobertura diaria en operación de rellenos sanitarios, sería necesario empacar y transportar el biosólido hasta el relleno, estas operaciones originan un aumento en los costos de operación y una logística adicional. Disponer en un sitio autorizado es factible, sin embargo sería necesaria una gestión adicional para obtener el sitio de disposición, además el transporte del biosólido ocasionaría costos adicionales.

En los procesos de valorización energética se requieren análisis costosos para conocer el potencial energético de los lodos, asimismo se debe tener en cuenta que existe la posibilidad de que los resultados de los análisis muestren que el lodo es poco útil en este tipo de procesos y por último la baja cantidad del producto hace que la alternativa sea poco viable.

Puesto que la PTAR genera cada mes una cantidad de biosólidos muy baja (80 kg aproximadamente), la alternativa más viable de las mencionadas anteriormente por la facilidad en la ejecución y por costos bajos, es la disposición simultánea con los residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios.

El personal de ESPUCAL ESP, tiene la opción de viabilizar el uso del biosólido que genera LA PTAR La Calera, haciendo un tratamiento de estabilización con el que consiga bajar los valores actuales de los parámetros microbiológicos hasta cumplir con los establecidos en la Tabla 2, artículo 5 del decreto. En tal caso, y según la categoría que se obtenga con la estabilización, el Artículo 8 del Decreto 1287 de 2014 dispone las alternativas de uso de biosólidos así:

#### **Categoría A.**

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

#### **Categoría B.**

- a. En agricultura, se aplicará al suelo.
- b. En plantaciones forestales.
- c. En la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos residuales.
- d. 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. Los procesos de elaboración y características de los productos finales y su uso, queda sujeto a la regulación establecida por el ICA.

- e. 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.
- f. Como insumo en la fabricación de materiales de construcción.
- g. En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial secundaria o terciaria.
- h. En la operación de rellenos sanitarios como: cobertura diaria, cobertura final de cierre y de clausura de plataformas y en actividades de revegetalización y paisajismo.
- i. Actividades de revegetalización y paisajismo de escombreras.
- j. En procesos de valorización energética.

Llevar el biosólido a los valores permisibles para clasificarlo como Categoría A, requiere de una mayor inversión, sin embargo podría lograrse esta clasificación. En ese escenario la mejor alternativa de uso es como producto para uso en áreas privadas de la PTAR, como lo son los jardines y las zonas verdes.

**Fotografía 14. Zonas verdes PTAR La Calera.**



El otro escenario sería que llevando a cabo la propuesta de estabilización planteada en el numeral 3.1., de este documento se obtenga un biosólido clasificado en la Categoría B. Para este caso una alternativa viable es el uso en plantaciones forestales, en la barrera ambiental para control de olores y uso forestal paisajístico. Esta alternativa permite que el biosólido sea aprovechado en la planta, pero debido a que es un uso ambiental, es necesario que ESPUCAL ESP, se registre ante la autoridad ambiental competente como productor de biosólidos para usos ambientales según lo establece el Artículo 5 del decreto.

Además se deben tener en cuenta el Artículo 9 del mismo decreto, en el que se disponen las restricciones para el uso del suelo después de la aplicación del biosólido categoría B, en este caso serían las siguientes:

- Solo se podrán poner a pastar animales domésticos después de 3 meses de la última aplicación de biosólidos al terreno. (Literal f. Artículo 9. Decreto 1287 de 2014).
- En suelos de uso forestal, restringiendo el acceso al área durante el mes siguiente a la última aplicación. (Literal g. Decreto 1287 de 2014).

También es necesario tener en cuenta lo estipulado en el Artículo 10 donde se encuentran los casos en los que los biosólidos son inaplicables en el suelo. Para la alternativa de uso en plantaciones forestales, el biosólido no podría usarse si:

- En suelos saturados como vegas. (Literal b. Artículo 10. Decreto 1287 de 2014).
- En suelos cuyo nivel freático máximo se encuentre a menos de 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. (Literal c. Artículo 10. Decreto 1287 de 2014).
- En las zonas de ronda. (Literal f. Artículo 10. Decreto 1287 de 2014).
- Suelos con alto riesgo de inundación. (Literal g. Artículo 10. Decreto 1287 de 2014).

Se dispone de la misma manera en el Artículo 16 del Decreto 1287, que cuando el aprovechamiento del biosólido es diferente al agrícola, el productor de este debe elaborar la ficha técnica y un instructivo para su uso; esta ficha debe contener la siguiente información:

- a. Categorización del biosólido.
- b. Categorización del biosólido con los respectivos valores de los parámetros.
- c. Técnica aplicada para reducir la atracción de vectores (Anexo 1 del Decreto)
- d. Usos recomendados del biosólido, de acuerdo a su caracterización.
- e. Instrucciones sobre manipulación, almacenamiento, transporte, empaque y embalaje del biosólido
- f. Métodos recomendados y formas de aplicación al suelo (superficial, incorporación, inyección u otras), cuando corresponda.
- g. Restricciones y prohibiciones del uso, de acuerdo a su categorización teniendo en cuenta lo previsto en el Decreto 1287 del 2014.

#### 4.5 TASA MÁXIMA ANUAL DE APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS

En caso de lograr obtener biosólidos de categoría A o B con las modificaciones sugeridas para los procesos de la planta de tratamiento es necesario calcular la Tasa Máxima Anual de aplicación. Este parámetro nos muestra qué tanto del biosólido puede ser aplicado al suelo dependiendo de su calidad fisicoquímica.

El cálculo de la Tasa Máxima Anual de Aplicación para Biosólidos hace parte del Decreto 1287 en su Anexo 2, consiste en un cálculo sencillo teniendo como base la concentración obtenida en la caracterización y los valores presentados en la Tabla 3 del Decreto, estos se muestran a continuación:

**Tabla 19. Tasa Máxima Anual de Aplicación.**

<b>PARAMETRO</b>	<b>TASA MÁXIMA ANUAL DE APLICACIÓN - TMAA. Kg/Ha-año</b>
<b>Arsénico (As)</b>	2,0
<b>Cadmio (Cd)</b>	1,9
<b>Cobre (Cu)</b>	75,0
<b>Cromo (Cr)</b>	150,0
<b>Mercurio (Hg)</b>	0,85
<b>Níquel (Ni)</b>	21,0
<b>Plomo (Pb)</b>	15,0
<b>Selenio (Se)</b>	5,0
<b>Zinc (Zn)</b>	140,0

Fuente. Tabla 3. Artículo 6. Decreto 1287 de 2014

Luego se utiliza el procedimiento y la ecuación planteada en el Anexo 2

**Procedimiento para determinar la Tasa anual de aplicación de biosólidos (TAAB):**

1. Analizar una muestra de los biosólido para determinar la concentración de cada una de las variables que figuran en la tabla No 3 del decreto.
2. Usando las concentraciones de contaminantes del paso 1 y la TMAA de la tabla No 3, calcular la TAAB para cada contaminante utilizado en la ecuación (1).
3. La TAAB para el uso del biosólido, es la TAAB más baja calculada en el paso 2.

La relación entre la TMAA para un parámetro y la TAAB para alguna categoría de biosólido, se muestra en la ecuación 1.

**Ecuación 1. TAAB. Tasa Anual de Aplicación de Biosólidos.**

$$TAAB = \frac{TMAA}{C * 0,001}$$

Donde,

TMAA: Es la tasa máxima de aplicación anual del parámetro en (Kg/Ha-año).

C: Concentración del parámetro en (mg (parámetro)/ kg (biosólido)).

TAAB: Tasa anual de aplicación de biosólido en (ton/Ha-año).

0,001: Factor de conversión.

Haciendo el ejercicio académico para la muestra analizada se tiene que el compuesto que limita la cantidad de aplicación de Biosólidos es el Zinc como se

puede ver en la Tabla 21, en este caso solo se podrían utilizar 155,2 Toneladas por hectárea por año de este tipo de Biosólido.

Cabe anotar que esta aplicación solo se puede hacer si se mejora la calidad microbiológica del biosólido.

**Tabla 20. Tasa anual de aplicación de biosólidos.**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración mg/kg-b.s.</b>	<b>TMAA kg/Ha-año</b>	<b>TAAB TON/Ha-año</b>
<b>Arsénico</b>	5,21	2,0	383,9
<b>Cadmio</b>	5,79	1,9	328,2
<b>Cobre</b>	108	75,0	694,4
<b>Cromo</b>	28,7	150,0	5226,5
<b>Mercurio</b>	1,72	0,9	494,2
<b>Níquel</b>	16,4	21,0	1280,5
<b>Plomo</b>	31,3	15,0	479,2
<b>Selenio</b>	3,57	5,0	1400,6
<b>Zinc</b>	902	140,0	155,2

Entonces en caso de mejorar la calidad microbiológica del biosólido toda la producción de éstos se podría aplicar sin restricciones.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- A la fecha de elaboración de este documento fue difícil encontrar laboratorios acreditados ante el IDEAM para la caracterización de los biosólidos. Además, los que se encontraron no tienen la totalidad de parámetros y en el caso de los ensayos microbiológicos los resultados fueron expresados en unidades distintas a las pedidas por la norma.
- El manejo actual de biosólidos en el municipio de La Calera está muy cerca de lo pedido en el decreto, sin embargo la calidad microbiológica del biosólido resultante hace imposible su utilización.
- Es necesario modificar levemente los procesos de manejo de biosólidos en la PTAR para mejorar la calidad de éstos y evaluar nuevamente su posible uso.
- Los tiempos definidos como base de cálculo para los reactores SBR y el digestor no se están cumpliendo y esto puede influir en la baja calidad microbiológica de los biosólidos.
- En necesario suspender la forma en cómo se disponen actualmente los biosólidos para cumplir con la normatividad ambiental vigente.
- Se deben establecer procedimientos de medición de la cantidad de biosólidos producida y un cronograma de caracterizaciones dependiendo de la producción anual.
- Es necesario invertir en equipos para la medición de pH y la mezcla de los biosólidos con la Cal en el proceso de estabilización.

- Mejorando la calidad microbiológica del biosólido sería posible aplicar la totalidad de la producción en los usos permitidos para la Categoría B.
- Se recomienda como alternativa de disposición del biosólido que no cumple con los valores máximos permisibles de categorización A y B la disposición conjunta con los residuos sólidos municipales en el relleno sanitario.
- Si ESPUCAL ESP, adopta la estabilización de los biosólidos propuesta en este documento y consigue un producto Categoría A podría hacer un aprovechamiento de estos en las zonas verdes y jardines de La PTAR, y en el caso de lograr un biosólido Categoría B, este puede aprovecharse en la barrera ambiental para control de olores o para uso forestal paisajístico.
- Es necesario que en una etapa posterior ESPUCAL E.S.P. realice un estudio que correlacione la calidad del afluente de la PTAR con las condiciones del biosólidos generado para detectar cambios en la calidad de éste sin necesidad de caracterizarlo en cada lote.

## BIBLIOGRAFÍA

**COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.** Decreto 3930 (25 de Octubre de 2010). *Por el cual se reglamentan parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte III-Libro II del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y se residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.* Diario Oficial. Bogotá DC. 2010

**COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO.** Decreto 1287 (10 de Julio de 2014). *Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.* Diario Oficial. Bogotá DC. 2014.

**GIAN PAOLO DÁGUER G.** Gestión de biosólidos en Colombia. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/biosolidos.pdf>, Consultado en línea el 29 de ene. de 2015

**HENAO CARDONA, Luis Felipe.** Ministerio de Vivienda. Consultado en línea el 29 de ene. de 2015. <http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2014/julio/ministerios-de-vivienda-ambiente-y-agricultura-expiden-decreto-para-el-uso-de-bios%C3%B3lidos-en-el-pa%C3%ADs>

**HERNÁNDEZ ESCALANTE, Humberto.** *Lineamientos para elaborar una propuesta de investigación.* Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander. 2001

**ICONTEC, INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS.** *Norma Técnica Colombiana NTC 1486.* Bogotá : s.n., 2008. }

**ORTEGÓN, Edgar, PACHECO, Juan Francisco y PRIETO, Adriana.** *Metodología del marcológico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas.* Santiago de Chile : Instituto

Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), 2005.

**REVISTA DE SALUD PÚBLICA** · Volumen 15 (5), Octubre 2013. Consultado en línea el 29 de ene. de 2015. <http://www.scielosp.org/pdf/rsap/v15n5/v15n5a13.pdf>

**ROMERO ROJAS, Jorge Alberto;** *Purificación del agua*, Bogotá DC. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2000

**TORRES LOZADA Patricia, MADERA PARRA Carlos Arturo, MARTÍNEZ PUENTES, Genny Virginia.** *Estabilización alcalina de biosólidos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas para aprovechamiento agrícola.* Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín, vol. 61, núm. 1, junio, 2008, pp. 4432-4444 Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia.




**UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.** (EPA 832-F-00-064). (2000). *FOLLETO INFORMATIVO DE TECNOLOGÍA DE BIOSÓLIDOS APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS AL TERRENO.* Office of Water Washington, D.C.





**UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.** (EPA530-R-99-009). (1999). *BIOSOLIDS GENERATION, USE, AND DISPOSAL IN THE UNITED STATES.* Solid Waste and Emergency Response (5306W).

}


# ANEXOS

## Anexo A. Resultados microbiológicos de la muestra analizada.

acueducto		DIRECCIÓN SERVICIOS TÉCNICOS LABORATORIO DE AGUAS REPORTE DE RESULTADOS ENSAYOS ACREDITADOS POR EL IDEAM 2015-0031					
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)		2015/03/26					
B. CLIENTE							
Nombre:	Luisa Fernanda García L						
Dirección:	Calle 71 No. 86 A - 75						
C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)							
Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Fecha Analisis (aaaa/mm/dd)	Sitio Toma Muestra	Tipo Muestra	Matriz Analizada
201503050200450	2015/03/04	11:30	2015/03/05	2015/03/05	PTAR La Calera	PUNTUAL	SÓLIDO - LODO
Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio ( ) Cliente (X)							
D. RESULTADOS							
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	LEGISLACIÓN		
Coliformes Fecales NMP **	NMP/g	313417683	Sustrato Enzimático Colifort SM-9223B Modificado	1	N.A.		
E. OBSERVACIONES							
<p><small>Nota: El resultado se reporta en base seca</small>  <small>CF: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF. Ed. 22. 2012</small>  <small>SF: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF. Ed. 15. 1980 (Aplica para el estado ácido cromotrópico de Nitratos)</small>  <small>La muestra fue tomada de acuerdo al plan de muestreo adjunto a la custodia. (Aplica únicamente para muestras tomadas por el Laboratorio de Aguas)</small>  <small>Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.</small>  <small>El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada.</small>  <small>El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.</small>  <small>L.I.=Límite Inferior, L.S.=Límite Superior, N.C.=No Cuantificable Resultado, que se encuentra por debajo del límite de cuantificación, N.A.=No Aplica</small>  <small>Ensayos acreditados por el IDEAM según Resolución 2632 de 2014</small></p>							
Firma Autorizada: 				Firma Autorizada: 			
Nombre: CARLOS MARTÍN VELÁSQUEZ RAMÍREZ RESPONSABLE TÉCNICO - LABORATORIO DE AGUAS				Nombre: ADRIANA PATRICIA CASTILLO CAÑÓN Cargo: APOYO TÉCNICO Área: MICROBIOLOGÍA			
PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO FIN DEL DOCUMENTO							

acueducto		DIRECCIÓN SERVICIOS TÉCNICOS LABORATORIO DE AGUAS REPORTE DE RESULTADOS ENSAYOS ACREDITADOS POR EL ONAC E IDEAM 2015-0031					
A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)		2015/03/26					
B. CLIENTE							
Nombre:	Luisa Fernanda García L	 					
Dirección:	Calle 71 No. 86 A - 75						
C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)							
Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Fecha Analisis (aaaa/mm/dd)	Sitio Toma Muestra	Tipo Muestra	Matriz Analizada
201503050200450	2015/03/04	11:30	2015/03/05	2015/03/05	PTAR La Calera	PUNTUAL	SÓLIDO - LODO
Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio ( ) Cliente (X)							
D. RESULTADOS							
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	LEGISLACIÓN		
Huevos de Helminto **	Huevo de Helminto /2g en Peso Seco	18	Ayres R & Mara D OMS 1996	1	N.A.		
Salmonella Muestras Sólidas **	NMP/4g ST	4,23	Salmonella EPA 1682	< 0.26 NMP/4g Peso Seco	N.A.		
E. OBSERVACIONES							
<p><small>Nota: El resultado se reporta en base seca</small>  <small>Los Huevos de Helminto corresponden a 16 Huevos de Ascaris sp, 2 Huevos de Uncinaria sp.</small>  <small>SF: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF. Ed. 22. 2012</small>  <small>SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF. Ed. 15. 1980 (Aplica para el método ácido cromotrópico de Nitratos)</small>  <small>La muestra fue tomada de acuerdo al plan de muestreo adjunto a la custodia. (Aplica únicamente para muestras tomadas por el Laboratorio de Aguas)</small>  <small>Los resultados del presente reporte corresponden específicamente a la muestra en mención.</small>  <small>El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada.</small>  <small>El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.</small>  <small>L.I.=Límite Inferior, L.S.=Límite Superior, N.C.=No Cuantificable Resultado, que se encuentra por debajo del límite de cuantificación, N.A.=No Aplica</small>  <small>Ensayos acreditados por el IDEAM según Resolución 2632 de 2014</small></p>							
Firma Autorizada: 				Firma Autorizada: 			
Nombre: CARLOS MARTÍN VELÁSQUEZ RAMÍREZ RESPONSABLE TÉCNICO - LABORATORIO DE AGUAS				Nombre: ADRIANA PATRICIA CASTILLO CAÑÓN Cargo: APOYO TÉCNICO Área: MICROBIOLOGÍA			

## Anexo B Resultados fisicoquímicos de la muestra analizada.

	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL LABORATORIO AMBIENTAL <b>INFORME DE RESULTADOS</b>	CODIGO: MT-INF-027 FECHA: 2014-07-22 VERSION: 3
---	---	---

**INFORME DE RESULTADOS MUESTRA 97-15**

**FECHA: 2015-03-17**

CLIENTE: Fredy Escobar Díaz  
 DIRECCIÓN: Calle 71 N° 86A -75 - Bogotá

MUESTRA No	97-15
MATRIZ:	Biosólido
CLASE DE MUESTRA:	Puntual
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	Biosólido
SITIO DE TOMA:	PTAR La Calera, Kilometro 4 Vía La Calera - Guasca. Lechos de secado.
TOMADO POR:	Fredy Escobar Díaz
FECHA DE TOMA	2015-03-04
HORA DE TOMA	11:30
FECHA DE RECIBO	2015-03-04

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	FECHA EJECUCIÓN ANÁLISIS		MÉTODO
			Inicio	Final	
Humedad	18,34	%	2015-03-11	2015-03-15	MT-PRE-073
Sólidos totales	81,66	%	2015-03-11	2015-03-15	MT-PRE-073
Arsenico	<5,21	mg/Kg-Bs	2015-03-09	2015-03-10	EPA 3051A-Revisió No. 1-2007 y EPA 6010C Revisión 3-2007
Cadmio	5,79	mg/Kg-Bs			
Cinc	902	mg/Kg-Bs			
Cobre	108	mg/Kg-Bs			
Cromo	28,7	mg/Kg-Bs			
Mercurio	<1,72	mg/Kg-Bs			
Niquel	16,4	mg/Kg-Bs			
Plomo	31,3	mg/Kg-Bs			
Selenio	<3,57	mg/Kg-Bs			

**OBSERVACIONES:** Muestra puesta en el laboratorio.

<XXX: Valor por debajo del limite de detección del método.

"XXX": Valor entre el límite de detección y el límite de cuantificación.

Los resultados son válidos única y exclusivamente para las muestras analizadas .

Este reporte no se debe reproducir parcialmente sin excepción, sin aprobación por escrito del Laboratorio



**OLGA LUCIA GOMEZ**  
**LÍDER TÉCNICA FISICOQUIMICA**

**FIN DEL INFORME**