# GUÍA PARA EL USO DE BIOSÓLIDOS EN RECUPERACION DE SUELOS DISTURBADOS

**DIANA ALEJANDRA URREGO OCAMPO**

**24695029**

**UNIVERSIDAD LIBRE – COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INSTITUTO DE POSGRADOS**

**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA AMBIENTAL**

**BOGOTÁ D.C JULIO 2014**

# GUÌA PARA EL USO DE BIÓSOLIDOS EN RECUPERACION DE SUELOS DISTURBADOS

**DIANA ALEJANDRA URREGO OCAMPO**

**Proyecto de grado para optar al título de Especialista en Gerencia Ambiental**

**Asesor:**

**JULIO CÉSAR RAMIREZ RODRÍGUEZ**

**Ingeniero Químico M. Sc.**

**UNIVERSIDAD LIBRE – COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INSTITUTO DE POSGRADOS**

**BOGOTÁ D.C ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA AMBIENTAL**

**BOGOTÁ D.C JULIO 2014**

# CONTENIDO


1. INTRODUCCIÓN 1

2. ANTECEDENTES 2

3. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 5

4. JUSTIFICACIÓN 6

5. OBJETIVOS 8

5.1 OBJETIVO GENERAL 8

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO 8

6. ALCANCE 9

7. METODOLOGÌA 10

7.1 MÉTODO DOCUMENTAL 10

7.2 MÉTODO DESCRIPTIVO 10

8. MARCO REFERENCIAL 12

8.1 MARCO TEÓRICO 12

8.1.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES 12

8.1.2 BIOSÒLIDOS: RESIDUOS O SUBPRODUCTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS 14

8.1.3 FACTIBILIDAD DEL USO DE LOS BIOSÓLIDOS 17

8.2 MARCO CONCEPTUAL 19

8.3 MARCO LEGAL 21

9. RESULTADOS 23

9.1 ANÀLISIS DE LAS EXPERIENCIAS DEL USO DE BIOSÒLIDOS EN EL DISTRITO 23

9.1.1 ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÒN DE LOS BIOSOLIDOS PRODUCIDOS EN EL DISTRITO 24

9.1.2 EXPERIENCIAS EN EL USO DE BIOSOLIDOS EN EL DISTRITO 28

9.2 REQUERIMIENTOS 33

9.2.1 GENERALIDADES 34

9.2.2 TRANSPORTE 35

9.2.3 RECEPCIÒN DE MATERIAL Y ALMACENAMIENTO 37

9.2.4 MEZCLA BIOSÒLIDO – SUELO 39

9.3 RELACIÓN DE COSTOS REPRESENTATIVOS EN EL APROVECHAMIENTO DE BIOSÒLIDOS CLASE B. 41

9.3.1 COSTOS DIRECTOS 43

9.3.2 COSTOS DE OPORTUNIDAD 45

9.4 GUÌA PARA EL USO DE BIOSOLIDOS PRODUCIDOS EN EL DISTRITO 47

10. CONCLUSIONES 56

11. RECOMENDACIONES 59

12. BIBLIOGRAFÍA 60

# LISTA DE TABLAS

**Pág.**

Tabla 1. Máxima concentración permitida para metales pesados……15

Tabla 2. Estándar para presencia máxima de microorganismos……..……...16

Tabla 3. Relación de normas aplicables…….……21

Tabla 4. Parámetros físicos para el biosólido..……...25

Tabla 5. Concentración de elementos potencialmente tóxicos en el biosólido.26

Tabla 6. Concentración físico químicas promedio en el biosólido……...……26

Tabla 7. Concentraciones microbiológicas promedio en el biosólido…..……27

Tabla 8. Costos asociados al transporte……..……44

Tabla 9. Costos asociados a la disposición y aprovechamiento……..…46

# LISTA DE FIGURAS

**Pág.**

Figura 1. Fases metodológicas……..……11

Figura 2. Vegetación sembrada sobre mezcla biosólido-suelo en el relleno sanitario……..……...31

Figura 3. Zonas con presencia de retamo espinoso y posterior intervención…32

Figura 4. Mezcla 1:1……..……..32

Figura 5. Mezcla 1:1 zonas con evidente desarrollo de capa vegetal posterior al aprovechamiento……..……33

Figura 6: Progreso zonas revitalizadas……..……..…33

Figura 7. Condiciones mínimas para el transporte...……..……...37

Figura 8. Condiciones del piso, para zona de almacenamiento temporal……..39

Figura 9. Mezcla biosólidos-suelo……..……...40

Figura 10. Manejo del talud……..……..42

Figura 11. Esquema de tratamiento de lodos PTAR El Salitre…….……..43

# 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo demuestra la posibilidad del uso de biosólidos generados en la Planta de Tratamiento de Agua Residuales de la ciudad de Bogotá como enmienda orgánica para suelos que han sido afectados por actividades extractivas, recopila información que evidencia la factibilidad de dichos usos tal como estudios o análisis de laboratorios y relaciona experiencias alrededor de ellos, igualmente deja unas líneas generales a seguir una vez salga el Decreto por el cual se establecen los criterios de calidad para el uso de los Biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en Colombia.

Para lo anterior se uso una metodología documental basada en consultas a fuentes secundarias y descriptivas, basadas en el análisis de registros obtenidos por el autor en su actividad laboral; la metodología se desarrolló en tres momentos, una fase de identificación o diagnósticas, una fase de consolidación y una fase de análisis o interpretación donde se obtuvo el documento guía.

Este trabajo se genera a la luz de nuevas posibilidades de aprovechamiento de residuos o subproductos como el biosólido si se tiene en cuenta que hay un borrador de Decreto a punto de ser aprobado, de la necesidad de no requerir más suelo que además no se tiene, para disposición final, además de la oportunidad de aprovechar estos residuos en el mejoramiento o restablecimiento de ciertas condiciones ambientales en suelos que han sido afectados por diferentes actividades productivas.

# 2. ANTECEDENTES

Los biosólidos son definidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), como "residuos sólidos, semisólidos o líquidos generados durante el tratamiento de aguas servidas domiciliarias. Los biosólidos incluyen las escorias ó sólidos removidos durante el tratamiento primario, secundario o avanzado del proceso de tratamiento de aguas servidas y cualquier material derivado de los lodos, excepto las gravillas o cenizas generadas durante el proceso de incineración" (EPA, 1994).[1]

En Colombia en cuatro de sus ciudades más grandes se ha avanzado en el tratamiento de aguas residuales, sin embargo este proceso no ha sido simétrico y en cada una de ellas los fenómenos de desarrollo en la materia difieren, en la ciudad de Cali por ejemplo se avanza en la investigación del cómo aprovechar los biosólidos como subproducto del tratamiento de aguas y han establecido acciones a realizar para posibilitar el aprovechamiento en actividades agrícolas.

A pesar de que en Colombia existen 4 PTAR con gran capacidad y proyección de ampliación que generan aproximadamente 274 Ton. diarias de biosólidos, no se cuenta con legislación sobre uso y aprovechamiento de este residuo, solo existe un borrador proyecto de Decreto cuya última revisión se hizo en noviembre de 2013.

En Bogotá se han desarrollado diferentes estudios con el fin de caracterizar los Biosólidos generados en la planta de tratamiento del distrito que además sólo trata aproximadamente el 28% del total de agua residual que producen sus habitantes en las distintas actividades; así las cosas y teniendo en cuenta las

[1] EPA. Aplicación de Biosólidos al Terreno. [en línea] En: Folleto informativo de tecnología de biosólidos. Septiembre de 2000. EPA 832-F-00-064. p. 1. Disponible en: http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2003/mtb/cs-00-064.pdf [citado en 2013-10-14]

proyecciones del programa de descontaminación del río Bogotá se entiende que la generación de biosolidos como subproducto del tratamiento de las aguas servidas de la ciudad tiende a aumentar.

En ese sentido mientras se haga tratamiento de las aguas Residuales, se hará necesario desarrollar las estrategias para disponer adecuadamente estos lodos.

Así mismo Bogotá presenta un problema en cuanto a disponibilidad de predios; actualmente el biosolido generado en su planta de tratamiento está siendo llevado a unos predios que están próximos a cumplir su vida útil de acuerdo a lo establecido en el documento *"APROVECHAMIENTO DEL BIOSÒLIDO EN MEZCLA CON SUELO PARA LA COBERTURA DEL PREDIO EL CORZO" (**EAAB – DAMA 2006).***

Si bien es cierto que aún no se ha reglamentado el uso de los biosolidos en Colombia existen ejercicios como los presentados por la Universidad del Valle en asocio con EMCALI referidos principalmente en las páginas y presentación desde la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de la ciudad y así mismo de acuerdo a la revisión bibliográfica, diferentes estudios de caracterización de biosólidos generados en Bogotá Medellín e incluso en Bucaramanga, ciudades donde operan PTAR´s que dan cuenta de que si bien este es un residuo del tratamiento de aguas contaminadas, no necesariamente debe ser tratado como un desecho y si puede ser aprovechado en otras actividades reduciendo así la demanda de predios para su disposición y la presión sobre otros recursos que se requieran actividades por ejemplo de restauración.

Para Colombia no se ha evidenciado aún ningún estudio que registre de manera ordenada los requerimientos técnicos o los costos del uso de los Biosólidos en ningún escenario y específicamente para la recuperación de suelos; los estudios han estado limitados a la caracterización de ellos, a sus condiciones microbiológicas y químicas o reducidos a ensayos muy pequeños,

es decir estudios principalmente físicos y químicos y a la demostración de sus aptitudes para con el suelo, en ellos se ha definido a partir del establecimiento y seguimiento de parcelas la viabilidad técnica de su uso pero en todos ha quedado por fuera la viabilidad en términos de sus requerimientos y los costos de todo el proceso.

*En RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL SALITRE EN BOGOTÁ. (**Bermúdez L. A 2013**)*[2]*.* Dentro de sus recomendaciones establecía la necesidad de cuantificar dichos costos como alternativa para la disposición final de los biosólidos con el fin de aprovecharlos como insumo en otros procesos y reducir la presión sobre otros recursos.

***Bermúdez L. A 2013,*** al igual que el resto de estudios trabaja con los biosolidos alrededor de sus beneficios sobre el suelo partiendo de ensayos en parcelas y evidenciando comportamiento del mismo a partir de comparaciones, todos y cada uno de ellos han concluido que con el tratamiento que al momento se aplica en Bogotá se obtienen biosólidos clase B, lo cual los deja en la línea de los biosolidos no aptos para uso agrícola pero si para enmienda o restauración de suelos degradados.

La última revisión del proyecto de Decreto fue hecha a finales del año 2013, lo que hace suponer que esta reglamentación esta ad portas de salir, es importante poder recoger las pocas experiencias y hacer un análisis que permita a la luz de este proyecto de Ley trazas una hoja de ruta para aquellos que en algún momento dado entraran a recibir los biosólido como parte de sus insumos en sus actividades económicas.

[2] BERMÚDEZ, Alejandro. Restauración de Suelos Degradados Mediante la Aplicación de Biosólido Producido en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre en Bogotá. Bogotá. 2013. p. 53.

# 3. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Muchos de los efectos de las intervenciones antrópicas para el aprovechamiento económico de los recursos naturales traen como consecuencia la degradación de los mismos, una de estas intervenciones obedece a la extracción de materiales a cielo abierto, las cuales ocasionan la degradación de los suelos; finalizados dichos aprovechamientos de acuerdo a las licencias ambientales deben realizarse enmiendas que permitan la recuperación parcial o total de los mismos.

El uso de biosólidos como restaurador parcial o total de suelos presenta grandes beneficios comparado con el uso de abonos químicos o los subproductos de actividades extractivas (tierra negra), ya que el ser un subproducto de la descontaminación de agua lo hace de muy bajo costo y no hay mayor demanda de recursos naturales. (Bermúdez L. A 2013)[3] y ayuda en la problemática de falta de suelos para disposición final de estos lodos hoy considerados residuos.

Actualmente en la PTAR El Salitre se produce un volumen aproximado de 160 Ton de Biosólido, material que es llevado para disposición final a los predios El Corzo

Lo anterior como ya se dijo, presenta una potencialidad en el Distrito si se tiene en cuenta que el producto que sería usado en la enmienda es el resultado de un desperdicio de otro proceso, lo que supone un valor agregado a este, igualmente se estaría reduciendo la presión sobre otros recursos (extracción de cespedones de Kikuyo, tierra, aplicación abonos, etc) y de igual manera supone la reducción en los costos de la recuperación de suelos con la técnicas convencionales aplicadas.

[3] Ibid., p. 2.

# 4. JUSTIFICACIÓN

Actualmente los biosólidos en muchos lugares vienen siendo catalogados como un residuo y en otros, más extremos son llamados desechos, lo anterior debido a la falta de legislación que normatice y normalice su uso y en otros casos derivado del choque de intereses que imposibilita cualquier aprovechamiento; esto exige su manejo y disposición en condiciones ambientalmente adecuadas pero "sin" aprovechamiento, sin embargo hay quienes afirman basados en numerosos estudios microbiológicos caracterizaciones físicas químicas y demás, que de acuerdo a sus resultados, estos pueden ser más que un residuo, un producto.

Como ya se mencionó en la descripción del problema todas las intervenciones antrópicas cualquiera que sean sus fines traen como resultado la degradación de los recursos naturales ya sea por extracción o impacto; para este caso la degradación de suelos por intervenciones alrededor de la minería en el Distrito.

Estos procesos erosivos entonces, constituyen un problema ambiental, social y económico y resulta necesario que los suelos sean devueltos a su condición inicial, para ello se deben tener en cuenta las condiciones del terreno.

El uso de biosólidos como restaurador parcial o total de suelos presenta grandes beneficios comparado con el uso de abonos químicos o los subproductos de actividades extractivas (tierra negra), ya que al ser un subproducto de la descontaminación de agua lo hace de muy bajo costo y no hay mayor demanda de recursos naturales. *(Bermúdez L. A 2013)*[4].

Según el documento presentado a la CAR en julio de 2006, actualmente en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Bogotá se produce un volumen aproximado de 160 Ton de biosólido, material que es llevado para disposición final a los predios El Corzo y que después de ser mezclado en una

[4] Ibid., p. 2.

proporción 1:1 con el suelo, dan origen a la germinación natural de las semillas de kikuyo que se encuentran en el suelo original.

De acuerdo a estudios realizados para establecer las características o condiciones del biosólido generados en la planta de tratamiento de aguas residuales del Distrito se ha concluido que dicho material es clase B, el más reciente de ellos: *RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS MEDIANTE LA APLICACÓN DE BIOSOLIDO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL SALITRE EN BOGOTÁ. (Bermúdez L. A 2013).* Lo cual lo hace apto para la enmienda de suelos y los deja por fuera de ser usados en agricultura.

Según Amézquita T, 2000 “Los biosólidos de clase B pueden ser usados en recuperación de suelos, plantaciones forestales, cultivos que no se consuman directamente y cobertura de rellenos sanitarios; sin embargo, las concentraciones de indicadores de contaminación fecal limitan su aprovechamiento por un tiempo en cultivos agrícolas de consumo directo como las hortalizas”[5].

Teniendo en cuenta que existen varios estudios que concluyen que el uso de biosólidos para la enmienda de suelos es viable, Según *Bermúdez L. A 2013,* es necesario establecer costos económicos que conllevaría dicho uso, en términos de transporte, mano de obra y demás que éste requiera.

Así mismo es necesario en este contexto documentar los requerimientos técnicos; atendiendo no sólo a una recomendación de uno de estos estudios de caracterización y uso de biosólidos sino también a una necesidad de establecer las condiciones mínimas y desmitificar esta opción, como alternativa que disminuya la presión sobre los recursos naturales al momento de la restauración de otros y de igual manera un aporte a la restauración ecológica de los suelos posterior a su intervención.

[5] AMÉZQUITA, Camilo. Evaluación del Uso de Biosólido de la planta El Salitre como Sustrato en Procesos de Recuperación de Suelos. Bogotá, 2002. p. 6.

# 5. OBJETIVOS

## 5.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una guía para el manejo o uso de los biosólidos generados en el Distrito en la recuperación de suelos disturbados.

## 5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO

- Analizar las experiencias de uso de los biosòlidos en el Distrito y sus resultados.
- Determinar los requerimientos técnicos y normativos para el uso de biosòlidos en suelos degradados.
- Establecer los elementos importantes de los costos fijos, de oportunidad del uso de biosólidos en la recuperación de los suelos.

# 6. ALCANCE

Este trabajo se dedicó exclusivamente a documentar y analizar experiencias en el uso de los biosòlidos y sus resultados, así mismo a revisar las proyecciones en términos de costos asociados y normatividad, con el fin de generar un documento que sirva como guía técnica para el manejo después de entrega del productor hasta su aprovechamiento.

Partiendo de la premisa que los biosòlidos generados en el distrito por sus condiciones ofrecen beneficios en la enmienda de suelos y que esto último es una urgencia en la restauración ambiental de ecosistemas disturbados.

Teniendo en cuenta el carácter de este trabajo, no se realizó investigación, ni pruebas de laboratorio, es decir que desde la revisión de documentos de investigaciones de terceros y de la experiencia del autor se obtuvieron los resultados trazados en los objetivos.

Algunos datos como la cuantificación de los costos fijos se hará con base en información del mercado como el valor por cuenta de los consumos de combustibles por kilómetros recorridos, herramientas y equipos necesarios para la aplicación del biosòlido, mano de obra requerida y demás exigencias que se establezcan para su aplicación.

Es importante resaltar que los biosòlidos son un subproducto de un tratamiento que se lleva a cabo en la ciudad de Bogotá y 3 ciudades más de Colombia, que potencialmente la generación de este subproducto tiende a crecer y que en la actualidad en la ciudad se debe pagar para que un tercero haga su disposición. Igualmente que la última revisión del borrador del Proyecto de Decreto se hizo a finales del 2013 y que esta ad portas de reglamentarse.

# 7. METODOLOGÌA

El procedimiento para el logro de los objetivos trazados en este trabajo se basa en los métodos documental y descriptivo.

## 7.1 MÉTODO DOCUMENTAL

Dado que está basado en la revisión de otras investigaciones, leyes decretos y normatividad asociada al tema, así mismo se surte de informes cuya veracidad se justifica en que se convierten en documentos auténticos respaldados por instituciones, esta constituye la información secundaria asociada al trabajo.

## 7.2 MÉTODO DESCRIPTIVO

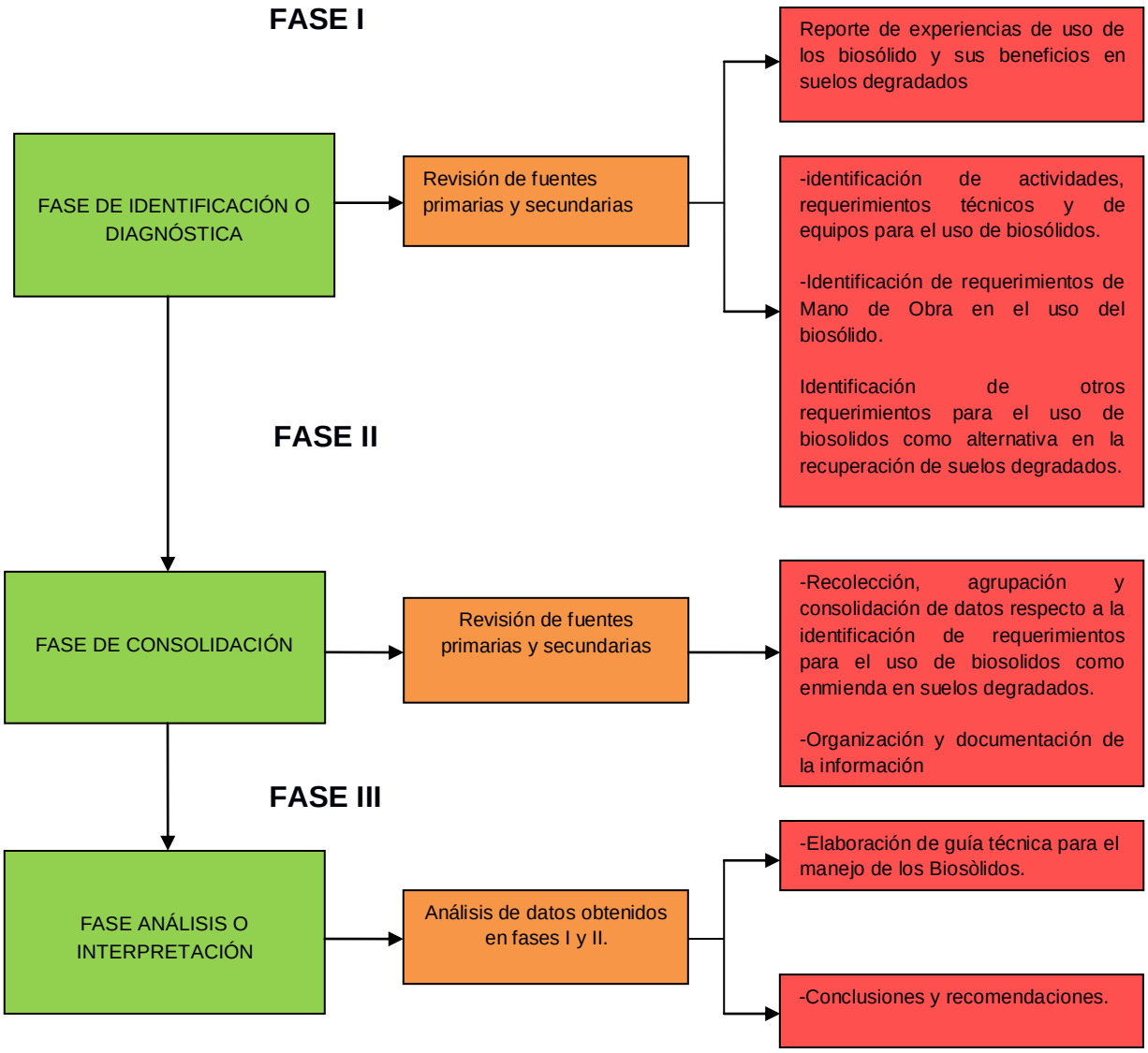
Teniendo en cuenta la actividad particular del autor, es descriptivo pues a partir de los registros obtenidos en ella relaciona una experiencia específica del tema, la autenticidad de dicha información se valida en los informes que presenta la empresa a la cual está vinculada al encargado autorizado actual del manejo del biosòlido; esta se convierte en la información primaria asociada al trabajo.

El proceso metodológico tuvo tres momentos, en los cuales los dos primeros tenían como eje la revisión de fuentes secundarias y la relación de los datos obtenidos en campo en el trabajo cotidiano del autor, estos enmarcados como fuente primaria.

La tercera fase constituyó el análisis para obtener el producto y conclusiones de este trabajo, es condición sin la cual el documento carecería de sentido ésta dio la posibilidad del paso intermedio entre la idea de tema inicial y la guía, objetivo general planteado y producto obtenido.

La figura 1 resume las etapas para dar cumplimiento a los objetivos trazados inicialmente con sus actividades asociadas y el momento metodológico.

**Figura 1 Fases Metodológicas**




**Fuente: El Autor, 2013.**

# 8. MARCO REFERENCIAL

## 8.1 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los referentes teóricos que enmarcan y delimitan el trabajo, teniendo siempre presente que el desarrollo del mismo se baso en la consulta de investigaciones y documentos académicos, a partir de lo cual se llegó a las conclusiones posteriormente expuestas.

### 8.1.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La preocupación por los efectos y demás consecuencias de no dar un manejo a las aguas residuales está dada desde finales del siglo XVI cuando se decreta en Londres que cada uno de los habitantes debería limpiar sus “alcantarillas”. Posterior a ello y con el paso de los años las dinámicas poblacionales fueron cambiando y con el auge de la revolución industrial se desencadenaron migraciones masivas de campesinos a las ciudades aumentando las cargas poblacionales y por ende los problemas ambientales.

“La solución a estos problemas vino con diluir los excrementos en agua y tirarlos en un sistema de alcantarillados centrales, los cuales posteriormente serían lanzados al río con la marea alta”[6]

Sin embargo este sistema empezó a evidenciar sus deficiencias con el paso de los tiempos, ya que si disminuyó la incidencia de enfermedades en las ciudades pero trasladaba el problema a otro entorno y los ríos y lagos receptores de dichas aguas empezaron a colapsar.

[6] RÁMILA, Javiera. ROJAS, Sebastián. Alternativas de Uso y Disposición de Biosólidos y Su Impacto en las Tarifas de Agua. Santiago, 2008. p. 65.

Fue en 1924 cuando la ciudad de Nueva York empezó a bombear estos residuos al mar a 12 millas de la bahía, sesenta años después la EPA (Agencia de Protección Ambiental ó Enviromental Protection Agency de Estados Unidos) de Estados Unidos determinó que las aguas habían sido seriamente dañadas y por lo tanto las aguas servidas deberían ser vertidas a 106 millas de distancia, pero no fue hasta el año 1980, en donde se veían jeringas y agujas de hospitales flotando en las playas que se le tomó seriedad al tema y en 1988 el Congreso de Estados Unidos prohibió lanzar aguas servidas al mar[7].

Cuando la capacidad de autodepuración por las altas cargas contaminantes de las aguas evidencio agotamiento, fue necesario el pensar en prácticas distintas que diera tratamiento al problema y que no lo siguiera transfiriendo, así las cosas inicia el diseño de las primeras plantas de tratamiento de aguas residuales teniendo en cuenta los avances ya obtenidos como las deducciones hechas por **Karl Imhoff,** ingeniero alemán que en sus conclusiones separa dos partes del proceso de tratamiento en sedimentación y digestión.

En Colombia los estándares y la regulación para el proceso de recolección transporte y tratamiento de aguas residuales está definido por el Reglamento Técnico del Sector Agua potable y Saneamiento básico en la sección II Título E. A pesar de los avances incipientes en los sistemas de tratamiento y acciones para el manejo de las aguas residuales antes de la década del 2000, estos eran iniciativas municipales desarticuladas. Es en el Conpes 3177 de 2002 que se define las acciones y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales (PMAR)[8].

[7] Ibid., p. 13.

[8] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Departamento Nacional de Planeación (Colombia). Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales. [en línea]. Bogotá: El Ministerio 2004. En: http//www.minvivienda.gov.co/agua/programas/documents/PLAN_NACIONAL_DE_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES:MUNICPALES_EN_COLOMBIA.pdf

De acuerdo al PMAR los avances en la implementación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales son significativos pero no suficientes, y los ya implementados muestran deficiencias debido a que no se tuvieron en cuenta los criterios fundamentales de cobertura, la sostenibilidad de los sistemas entre muchos otros, en el país de acuerdo la condiciones actuales está pendiente dar salida a un 70% de las aguas residuales en términos de tratamiento, lo que muestra una meta de largo aliento, pero reviste otros retos como los que ya se enfrentan con los avances logrados entre ellos el manejo de los residuos o subproductos que se obtienen de dichos sistemas de tratamiento.

### 8.1.2 BIOSÒLIDOS: RESIDUOS O SUBPRODUCTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

Todas las actividades sin excepción generan impactos, alteraciones y subproductos o residuos, incluidas las que tienen por objeto prevenir, mitigar, corregir o compensar daños ocasionados al medio ambiente.

Así en el caso de los STARS (sistemas de tratamiento de aguas residuales), que buscan reducir las cargas contaminantes de las aguas servidas que serán entregadas a los cuerpos de agua, demandan consumos de energía, algunos insumos y por ende residuos, enmarcados en el caso de Bogotá principalmente en dos, por un lado los lodos estabilizados y por el otro el biogás, ambos susceptibles de ser aprovechados, en caso contrario serán tratados como residuos generando problemas para establecer su destino final tal como se ha evidenciado con la carencia de áreas o suelo en la ciudad para la disposición final de los biosòlidos.

En Colombia no existe legislación vigente sobre el uso y aplicación de biosólidos, pero existe un proyecto de reglamento que pretende normar su uso, entre tanto estos se han manejado bajo los parámetros de la EPA que los define como “residuos sólidos, semisólidos o líquidos generados durante el tratamiento de aguas servidas domiciliarias. Los biosólidos incluyen las

escorias ó sólidos removidos durante el tratamiento primario, secundario o avanzado del proceso de tratamiento de aguas servidas y cualquier material derivado de los lodos, excepto las gravillas o cenizas generadas durante el proceso de incineración" (EPA, 2013)[9], en este documento nos referiremos indistintamente como biosólido o lodos estabilizados como sinónimos.

**Tabla 1 Máxima concentración permitida para metales pesados**

| Metal | Concentración límite (mg/kg) | Tasas acumulativas de carga contaminante (mg/kg) | Concentración del contaminante (mg/kg) |
|---|---|---|---|
| Arsénico | 75 | 41 | 41 |
| Cadmio | 85 | 39 | 39 |
| Cobre | 4,300 | 1,500 | 1,500 |
| Plomo | 840 | 300 | 300 |
| Mercurio | 57 | 17 | 17 |
| Molibdeno | 75 | SL | NL |
| Níquel | 420 | 420 | 420 |
| Selenio | 100 | 100 | 100 |
| Zinc | 7,500 | 2,800 | 2,800 |

NL: no tiene límite establecido

Fuente: EPA, 2000

[9] EPA. Aplicación de Biosólidos al Terreno. [en línea] En: Folleto informativo de tecnología de biosólidos. Septiembre de 2000. EPA 832-F-00-064. p. 1. Disponible en: http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2003/mtb/cs-00-064.pdf [citado en 2014-02-26]

**Tabla 2 Estándar para presencia máxima de microorganismos**

| TIPO | Densidad de Coliformes Fecales | Salmonella S.P | Densidad de Huevos de Helmintos | Densidad de Virus Entéricos. |
|---|---|---|---|---|
| **Clase A** | <1000 NMP/g ST | <3 NMP/4 g ST | ≤1 /4gST | ≤1 UFC/4gST |
| **Clase B** | $2 \times 10^6$ NMP/gST | - | - | - |

Fuente: Autor, 2014

*La norma EPA2 clasifica los biosólidos en clase “A” o biosolidos de clase “B”

**Biosólido Clase A.** Un biosólido con estos niveles y que además tenga tratamiento para reducir vectores, no tendrá restricciones en su aplicación agraria y sólo será necesario solicitar permisos para garantizar que estas normas hayan sido cumplidas.

**Biosólido Clase B.** Este tipo de biosólidos deberá recibir tratamiento y será el que mayores restricciones presente para uso agrícola.

Adicionalmente, la norma establece límites al contenido de metales presentes en los lodos, aspectos de reducciones de agentes patógenos al igual que establece unas restricciones para su aplicación o uso.

De acuerdo a información obtenida en consultas de investigaciones y que será tratada a fondo en el numeral correspondiente a la caracterización de los

biosolidos que se generan en el Distrito, se afirma que estos se enmarcan en las características de los biosólidos clase B

Teniendo en cuenta la caracterización de los lodos o biosólido y recogiendo experiencias de Estados Unidos, Europa y países latinoamericanos como Brasil, chile, México, etc. Hay suficiente demostración de la viabilidad de que estos lodos sean tratados como un residuo aprovechable convirtiéndose en un producto y no como basura sin ninguna posibilidad de beneficio.

Es claro que los usos y posibilidades de los biosolidos pueden ser distintos tal como lo discuten activistas ambientales y algunos académicos frente a los criterios que estableció de la EPA para su manejo ya que la composición de estos obedece a factores sociales, condiciones tecnológicas y aspectos culturales de cada país, sin embargo es equivocado negar que aspectos de otras experiencias o ejercicios en otras latitudes puedan servir de línea para el desarrollo de las propias experiencias en el país.

### 8.1.3 FACTIBILIDAD DEL USO DE LOS BIOSÓLIDOS

La búsqueda de alternativas del uso de los biosolidos se hace urgente principalmente, si se tiene en cuenta que las poblaciones tienden a crecer, que las políticas nacionales apuntan a generalizar el establecimiento de STARS y que en cualquier caso estos generaran lodos que de acuerdo a la reglamentación estarán en la línea de biosólidos clase B susceptibles de aprovechar como enmienda orgánica en suelos con problemas de degradación

“La producción de lodos por parte de una instalación de depuración de aguas residuales es una consecuencia inherente al funcionamiento de la misma. La utilización del término biosólido es consistente por cuanto, en general, estos lodos son

materiales orgánicos ricos en nutrientes que son susceptibles de ser reintegrados a la cadena trófica"[10].

Teniendo en cuenta las afirmaciones sobre que si es posible hacer uso del biosòlidos y que a pesar de que los contextos son distintos, existen experiencias en Chile y otros países que dan cuenta del aprovechamiento de estos, incluso en las experiencias de las 4 PTAR`s grandes del país documentadas en las páginas de internet de cada una se demuestra la viabilidad de los múltiples usos, principalmente del uso como enmienda orgánica en suelos, Bogotá ostenta una valiosa experiencia en los cierres de celdas del Relleno Doña Juana y en los últimos años en la disposición y aprovechamiento de este en los predios El Corzo bajo la gestión del biosolido a cargo de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de la ciudad.

Así mismo, es de subrayar que la degradación de suelos es un proceso de mayor preocupación cada día, debido a que genera la imposibilidad de que la tierra pueda sostener cualquier actividad económica al mismo tiempo que pierde sus posibilidades ecológicas.

Colombia a lo largo y ancho de su territorio presenta problemas de degradación de suelos y en algunos sitios de desertificación, De acuerdo con estudios realizados por el IDEAM , cerca del 24% de las tierras en Colombia, son susceptibles a la desertificación y el 0.7% de la extensión del suelo nacional presentan procesos de desertificación[11].

Específicamente la sabana de Bogotá no es ajena a ésta presentando todos los procesos de degradación de suelo por actividades como la extracción minera, sobrepastoreo, urbanización, etc.

[10] MAHAMUD, Manuel. GUTIÉRREZ, Antonio. SASTRE, Herminio. Biosólidos Generados en la Depuración de Aguas. [en línea]. Burgos. 1996. Disponible en: http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/3115/1/32article4.pdf p. 1.

[11] SISTEMA DE INFORMACIóN AMBIENTAL DE COLOMBIA. Programa de Monitoreo y seguimiento de la Degradacion de Suelos y Tierras en Colombia.[en línea] Bogotá: SIAC, 2012. Disponible en: http//www.siac.gov.co/contenido.aspx?catID=1432 [citado el 2014-03-15]

La aplicación de subproductos del tratamiento de aguas residuales como enmienda orgánica o abono de suelos no es nada nuevo, pues siempre han sido reconocidos los beneficios agrícolas de incorporar estiércoles en el terreno para mejorar sus características[12].

Es decir que este contexto, donde hay una tendencia a que la generación de biosólido se incremente, a falta de terrenos para la disposición final en caso de que estos sean tratados como residuos, a que existen argumentos científicos que demuestran la viabilidad del uso y a la necesidad de generar estrategias o alternativas de bajo costo en la recuperación de suelos, no queda más que dar trámite a la ley que reglamenta el uso y aprovechamiento dando salida a esta problemática.

## 8.2 MARCO CONCEPTUAL

**Abono o Fertilizante**. Producto que aplicado al suelo o las plantas suministra a estas, uno o más nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo.

**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**. Aguas servidas de origen doméstico, comercial e institucional que contienen desechos orgánicos.

**Almacenamiento.** Mantenimiento en un sitio de los lodos y biosólidos de forma temporal, se excluye el uso de esta práctica como método de estabilización complementario de los lodos.

[12] BERMÚDEZ, Alejandro. Restauración de Suelos Degradados Mediante la Aplicación de Biosólido Producido en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre en Bogotá. Bogotá. 2013. p. 6.

**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 se consideran 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.

**Digestión anaeróbica**. 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.

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

**Recuperación, mejoramiento o restauración de suelos degradados.** Aplicación de medidas correctivas con el fin de reparar, rehabilitar o corregir los procesos de degradación del suelo.

**Suelos degradados o disturbados**. 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.

**Usuario de biosólidos.** Persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza o adquiere los biosólidos del productor o del distribuidor.

## 8.3 MARCO LEGAL

**Tabla 3 Relación normas aplicables.**

| DOCUMENTO | CARÁCTER | DESCRIPCIÓN |
|---|---|---|
| Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge (USEPA, 1993). Code of Federal Regulations (40 CFR), Part 503. Existen además varios folletos informativos que hablan específicamente de los biosólidos de acuerdo a su posible uso específico. | Internacional | Regular manejo sanitario de lodos no peligrosos provenientes de plantas de tratamiento de aguas.<br>Regular el uso y manejo de lodos no peligrosos en aplicación al suelo. |
| Conpes 3177 de 202. | Nacional | Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (PMAR). |
| Borrador de Decreto presentado en marzo de 2003 por los operadores (BAS, EMCALI y EEPPM) de las 3 plantas más grandes del país (El Salitre, Cañaveralejo y San Fernando). En estudio Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial última revisión Nov - 2013 | Nacional | Basado en las reglamentaciones de Estados Unidos (normas EPA) y de la Unión Europea. |
| Ley 9 de 1979 | Nacional | Código Sanitario Nacional. |
| Decreto 1594 de 1984 | Nacional | Uso del Aguas y Vertimientos. |
| Ley 373 de 1997 | Nacional | Uso Eficiente y Ahorro del agua. |
| Resolución 1096 de 2000 | Nacional | Reglamento Técnico del Sector de agua potable y saneamiento - RAS |
| Resolución 1541 de 2013 | Nacional | Por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad del aire o inmisión, el procedimiento para la |

| | | |
|---|---|---|
| | | evaluación de actividades que generen olores ofensivos.<br>(Norma NTC 5880) |
| Ley 160 de 1994 | Nacional | Estatuto Rural, refiere las condiciones agrológicas del suelo. |
| Norma Técnica Colombiana NTC-5167 | Nacional | Establecer los requisitos que deben cumplir los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas del suelo. |
| Ley 461 de 1998 | Nacional | Aprueba la convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación. |

# 9. RESULTADOS

En este apartado se materializa lo planteado en la metodología como el compendio de la información recopilada y de los análisis de la misma, evidenciando el logro de los objetivos planteados inicialmente**.**

## 9.1 ANÀLISIS DE LAS EXPERIENCIAS DEL USO DE BIOSÒLIDOS EN EL DISTRITO

Con el fin de dar cumplimiento al primer objetivo y ofrecer bases argumentativas y científicas sobre las posibilidades del uso biosòlidos se revisaron estudios y experiencias académicas e institucionales que se han llevado a cabo usando estos lodos; en este punto se realiza una recopilación de los resultados obtenidos en dichos ensayos académicos que han caracterizado estos residuos ubicándolos en un nivel de acuerdo a las normas EPA. Igualmente desde la actividad laboral particular del autor, se revisan los registros que levantan en campo para el desarrollo de una actividad económica enmarcada en la administración del predio que actualmente se usa para disposición final de estos materiales y sobre el cual los informes ofrecen varios elementos para tener en cuenta como experiencia en el uso y aprovechamiento de biosolidos además de evidenciar el comportamiento del mismo.

Estos dos aspectos mencionados, la caracterización de los materiales en mención al igual que la revisión y documentación o análisis de dos experiencias que pueden ser consultadas en las páginas del acueducto constituyen los dos pilares argumentativos y demostrativos del uso de los biosolidos y por tanto de la posibilidad de que la guía que se muestra posteriormente tenga sentido.

### 9.1.1 ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÒN DE LOS BIOSOLIDOS PRODUCIDOS EN EL DISTRITO

Teniendo en cuenta que no es objeto de este trabajo realizar prueba de laboratorio para identificación de las características del biosòlido y que existe además un número considerable de trabajos cuyo resultado es ese, se realizará a continuación una relación de tablas y análisis de laboratorio en los cuales se describen las características físico químicas que determinan la clasificación de estos.

**Tabla 4. Parámetros físicos del biosólido**

| Parámetros | Diciembre de 2013 | Promedio Histórico |
|---|---|---|
| Producción mensual (t) | 3545 | 4165[3] |
| Producción media diaria (t/d) | 114.4 | 136.9 (S=49.6) [3] |
| Humedad prom. Biosólido patio PTAR (%) | 70.9 | 68.8 (S=2.7) [3] |
| Humedad biosólido patio El Corzo (%) | 71 | 68[1] |
| Densidad aparente húmeda (t/m$^3$) | 0.82 | 0.82 (S=0.11)[2] |
| Densidad de transporte (t/m$^3$) | 1.25 | 1.25 (S=0.05)[4] |

(1) Promedio según reporte lab. muestreo puntual desde oct. /09
(2) Promedio desde ene. /06, excluyendo prueba de esfuerzo
(3) Promedio ago/2001-mar/2006; mar/2007 a la fecha. No se incluyó el periodo comprendido entre abril 01 de 2006 a febrero 28 de 2007, puesto que correspondió al desarrollo de las pruebas de esfuerzo en la PTAR
(4) Promedio desde enero de 2011

Fuente: EAB, 2013

El histórico de humedades muestra que se viene manejando valores menores 75% es asì como en uno de los últimos informes publicados en l página se tiene para el mes de diciembre de 2013, la humedad promedio diaria del biosólido tornó a su valor ideal, por debajo del 72%, significando que en ningún momento se superó el límite de 75% de humedad por encima del cual el producto podría lixiviar.

**Tabla 3. Concentración de elementos potencialmente tóxicos en el biosólido**

| Parámetro (mg/kg) | Resultados Muestra compuesta Diciembre 1-31 | Mediana ene./04 – dic./13 | Rango intercuartílico ene./04 – dic./13 | Límites máximos permisibles EPA 503.13 (aplicación en suelos) | Límites máximos normativa europea. Council Directive[1] |
|---|---|---|---|---|---|
| Arsénico | 14.33 | 11.08 | (1.17 a 17.80) | • 75 | • ------ |
| Cadmio | 0.63 | 5.69 | (3.91 a 8.00) | • 85 | • 20-40 |
| Cobre | 216.3 | 177.2 | (143.5 a 212.4) | 4300 | 1000-1750 |

Fuente: EAB, 2013

**Tabla 4. Concentración de elementos potencialmente tóxicos en el biosólido**

| Parámetro (mg/kg) | Resultados Muestra compuesta Diciembre 1-31 | Mediana ene./04 – dic./13 | Rango intercuartílico ene./04 – dic./13 | Límites máximos permisibles EPA 503.13 (aplicación en suelos) | Límites máximos normativa europea. Council Directive[1] |
|---|---|---|---|---|---|
| Arsénico | 14.33 | 11.08 | (1.17 a 17.80) | 75 | No regular |
| Cadmio | 0.63 | 5.69 | (3.91 a 8.00) | 85 | 20-40 |
| Cobre | 216.3 | 177.2 | (143.5 a 212.4) | 4300 | 1000-1750 |
| Cromo | 49.00 | 75.86 | (62.88 a 93.24) | No regulado | No regulado |
| Mercurio | 3.40 | 2.74 | (1.54 a 4.73) | 57 | 16-25 |
| Molibdeno | 2.34 | 4.02 | (0.01 a 4.57) | 75 | ------ |
| Níquel | 47.98 | 38.81 | (30.64 a 49.76) | 420 | 300-400 |
| Plomo | 37.90 | 84.34 | (60.65 a 100.30) | 840 | 750-1200 |
| Selenio | 10.40 | 4.09 | (0.08 a 11.70) | 100 | ----- |
| Zinc | 1128.61 | 1072.0 | (953.7 a 1183.5) | 7500 | 2500-4000 |

Notas: Resultados en base seca
(1)Límites inferiores para pH en el suelo <7, y límites superiores pH suelo>7

Fuente: EAB, 2013

En la tabla anterior se observan los datos para las concentraciones en cuanto a metales pesados obtenidos para el biosólido que genera la PTAR del Distrito, estos comparados con los límites permisibles para compost en Colombia de acuerdo al RAS, al igual que los parámetros por la EPA en concentraciones que no pueden sobrepasarse en los biosolidos susceptibles de ser aplicados a un terreno.

**Tabla. 5 Concentraciones físico químicas promedio en el biosólido.**

| Tipo de muestra biosólido PTAR | Parámetro | Unid. | Biosólido (Dic. /2013) | Promedio histórico | Gallinaza desecada industrialmente (1) |
|---|---|---|---|---|---|
| Puntual | Nitrógeno Total | % | 3.0 | 2.8 | 3.6 – 5.5 |
| | Nitrógeno Amoniacal | mg/kg | 2347 | 3979 | -- |
| | Nitratos | mg/kg | <0.004 | 39.8 | -- |
| | Nitritos | mg/kg | 3.680 | 1.559 | -- |
| | pH | Unidad | 8.4 | 7.8 | -- |
| Compuesta | Fósforo | % | 1.7 | 0.9 | 1.3-2.0 |
| | Potasio | % | 0.2 | 0.2 | 1.2-2.0 |
| | Hierro | % | 4.4 | 5.8 | -- |
| | pH | Unidad | 7.8 | 7.3 | -- |

(1) Adaptado de Castelló y col. (1989)

Fuente: EAB, 2013

Estas concentraciones demuestran que tienen potencial en cuanto a los nutrientes que requiere la vegetación para su crecimiento y desarrollo.

**Tabla 6 Concentraciones microbiológicas promedio en el Biosólido.**

| Parámetro | Unidad | Sitio de muestreo de biosólido | Resultado | Media Geométrica resultados jun. /2010-dic. /2013 | Norma EPA 40 CFR parte 503 |
|---|---|---|---|---|---|
| Coliformes Fecales | UFC/g | PTAR El Salitre | 3 | **4991** | Biosólido CLASE A (1): <1x10$^3$ NMP/g ó cumplir límite para salmonella sp. |
| | | El Corzo | 141004 | **9759** | Biosólido CLASE B: <2x10$^6$ NMP/g ó UFC/g |
| Coliformes Totales | NMP/g | PTAR El Salitre | 24 | --- | No requerido |
| | | El Corzo | 4491730 | | |
| Salmonella sp. | NMP/4g | PTAR El Salitre | 22.5 | 3.7 | Biosólido CLASE A (1) <3 NMP/4g ó cumplir límite para coliformes fecales |
| | | El Corzo | 1.0 | 1.6 | Biosólido CLASE B (2) |
| Huevos de Helminto | HH/2g | PTAR El Salitre | 133 | 42 (3) | Requiere conocer viabilidad de los huevos |
| | | El Corzo | 112 | 31 (3) | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Huevos de Helminto Viables | HH/4g | PTAR El Salitre | Pendiente | 23 (3) | Biosólido CLASE A (1): <1 HH Viable/4g<br>Biosólido CLASE B (2) |
| | | El Corzo | Pendiente | 21 (3) | |
| E. Coli | NMP/g | PTAR El Salitre | 1 | --- | No requerido |
| | | El Corzo | No Requerido | | |

Notas:
(1) La clase A requerirá demostrar reducción de virus entéricos y huevos de helmintos viables, según el proceso de tratamiento de lodos utilizado. Para el caso de digestión anaerobia mesófila es requerido.
(2) No requiere determinarse para la clase B.
(3) Promedio desde enero de 2013.

Fuente:EAB, 2013

Tal como se observa en la tabla, cumple cabalmente con los estándares internacionales, que de acuerdo al borrador de Decreto serán normatizados en la legislación colombiana ya que basa sus datos en las mismas normas EPA

En cuanto a vectores, las pérdidas de SVT iguales o mayores a 38% disminuyen considerablemente la atracción de vectores y generación de olores de acuerdo a la guía de soporte elaborada por la EPA. Para demostrar esta reducción mínima exigida en el porcentaje de sólidos volátiles de los lodos tratados, se debe medir su concentración y la de los sólidos totales a la entrada de los digestores ($ST_{inicial}$ y $SV_{inicial}$ -lodo espesado-) y a la salida de los mismos ($ST_{final}$ y $SV_{final}$) o lo que es igual, dentro de ellos dado que su régimen de flujo es turbulento y completamente mezclado. El biosólido de la PTAR El Salitre alcanzó una reducción del **53%** en SV durante el mes de Diciembre, demostrando una estabilidad que garantiza una mínima generación de olores y atracción de vectores.

El porcentaje de humedad del biosólido antes de ser transportado se mueve de acuerdo a los informes de gestión mensuales de la PTAR El Salitre en un rango de 63 y 73%, igualmente estos informes citan que posterior al tiempo de extendido al que se somete el material, este no presenta una mejora en más de tres puntos porcentuales.

### 9.1.2 EXPERIENCIAS EN EL USO DE BIOSOLIDOS EN EL DISTRITO

Los biosólidos de clase B pueden ser usados en recuperación de suelos, plantaciones forestales, cultivos que no se consuman directamente y cobertura de rellenos sanitarios; sin embargo, las concentraciones de indicadores de contaminación fecal limitan su aprovechamiento por un tiempo en cultivos agrícolas de consumo directo como las hortalizas[13].

Teniendo en cuenta lo anterior y considerando que el tipo de biosólidos generado en la cuatro PTAR´s que existen en el país, son de clase B, a continuación se describen las formas de uso:

Las alternativas de aprovechamiento de biosólidos son las siguientes:

- Silvicultura (plantaciones forestales, viveros)
- Recuperación de suelos degradados
- Adecuación de zonas verdes (separadores viales, parques)
- Cobertura intermedia o final de rellenos sanitarios
- Biorremediación de suelos contaminados. *DAGUER, G.Gestión de biosólidos en Colombia.*

Del mismo modo en el país cada una de las PTAR ha realizado diferentes búsquedas sobre los usos del biosólido dando como resultado las siguientes experiencias:

PTAR El Salitre:

- Aprovechamiento como cobertura final en el relleno sanitario Doña Juana
- Compostaje de biosólidos
- Biorremediación de suelos contaminados
- Aprovechamiento forestal

[13] DÁGUER, Gian. Gestión de Biosólidos en Colombia. Bogotá. 2000. p. 3.

- Recuperación de suelos degradados
- Indicadores de contaminación fecal de lodos y biosólidos de la PTAR El Salitre
- Aprovechamiento agrícola de biosólidos.

PTAR San Fernando:

- Recuperación suelos degradados (véase Fotografía 2.)
- Compostaje de biosólidos
- Revegetación de taludes
- Aprovechamiento agricultura
- Biorremediación de suelos
- Lombricultura de biosólidos

PTAR Cañaveralejo

- 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)

#### 9.1.2.1 CIERRE DE CELDAS EN EL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA.

Desde el inicio de la operación de la PTAR El Salitre, y hasta el mes de Junio de 2007, el biosólido generado fue aprovechado como abono en la cobertura de las celdas clausuradas del Relleno Sanitario Doña Juana, mejorando el crecimiento, desarrollo y resistencia del pasto cultivado. Actualmente, el

biosólido se utiliza en la conformación de la cobertura vegetal del Predio El Corzo, en donde se requiere iniciar las actividades de cierre y clausura.

Allí se recibía, se daban unos tiempos para tener extendido y pasaba a las zonas que iban siendo clausuradas, donde debía hacerse la mezcla 1:1 de biosólido y suelo.

**Figura 2. Vegetación sembrada sobre mezcla biosólido – suelo en el Relleno**

Fuente: EAB, 2007

Una de las conclusiones más representativas del informe mensual de a gestión de biosolidos planteaba que Las concentraciones de metales pesados registradas en el periodo, se mantuvieron dentro de los intervalos históricamente obtenidos y fueron menores a los valores máximos permitidos por la normatividad US-EPA-503. Igualmente se puede observar que las zonas cubiertas con el material tienen de acuerdo a las figuras una capa vegetal ya desarrollada aparentemente en buenas condiciones.

### 9.1.2.2 APROVECHAMIENTO DEL BIOSÓLIDOS EN MEZCLA CON SUELO PARA LA COBERTURA DEL PREDIO EL CORZO.

Después de la mitad de año del 2007, se viene haciendo disposición en el predio El Corzo*, con los resultados esperados de acuerdo a lo observado en la clausura de las celdas en el relleno Sanitario Doña Juana, el biosólido llega, esta un tiempo extendido y posteriormente pasa a mezcla 1:1 en las zonas donde está programada la recuperación .

La presencia de retamo espinoso en el predio era característica, sin embargo posterior a la aplicación de biosólido se observo que no solamente se presentaba germinación del pasto de manera natural con las semillas que seguramente se encontraban en el terreno, sino que no se encuentran evidencias de que en las zonas intervenidas con biosólido se encuentre nuevamente biosólido, como lo muestran.

**Figura 3 Zonas con presencia de retamo espinoso, áreas sin intervenir.**

Fuente: El Autor, 2012

* El predio El Corzo, es el lugar donde actualmente se realiza la disposición final del biosólido, dichos predios son propiedad de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de la Ciudad de Bogotá, actualmente cuentan con la licencia ambiental para tal actividad, anteriormente estas áreas eran usadas para recibir material de excavación profunda de los canales Cundinamarca y Tintal. Está ubicado en inmediaciones del barrio Bosa Porvenir y el Rìo Bogotà.

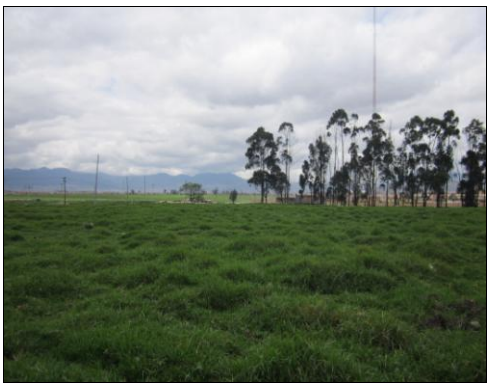
En el predio el Corzo, estas áreas corresponden a la celda ·3, en estas zonas ya se realizó aprovechamiento y se observa vegetación en desarrollo relacionada en la figura 5.

**Figura 4 Mezcla 1:1**

Fuente: El Autor, 2014

Tal como lo evidencian las fotografías la apariencia de la mezcla va cambiando con el tiempo hasta que se desarrolla la vegetación Figura 5.

**Figura 5 Mezcla 1:1 Zonas con evidente desarrollo de capa vegetal posterior al aprovechamiento**



Tomada: 2012 Tomada: 2014

Fuente: El Autor, 2014

Las fotografías anteriores, el mismo sitio previo (foto izquierda) y posterior al aprovechamiento (foto derecha).

**Figura 6 Progreso zonas revegeltalizadas**

Fuente: El Autor, 2014

## 9.2 REQUERIMIENTOS

En Colombia el uso de los Biosòlidos aún no ha sido reglamentado, sin embargo la última revisión al borrador del Decreto se realizó para los meses de noviembre y diciembre del año 2013, teniendo en cuenta que desde hace varios años se viene trabajando con ellos dada la implementación de las

diferentes PTAR`s en el País, para subsanar esta condición se han seguido algunas condiciones establecidas por la EPA en su norma 503, no obstante su uso es restringido y a gran escala se ha limitado a entidades con permisos especiales o se ha dejado a ensayos experimentales o (de los cuales se ha obtenido bastante argumentación para su caracterización), dada la necesidad de “hacer algo” con dicho residuo que en realidad constituye un subproducto del proceso de depuración de aguas residuales se presentan a continuación algunos elementos a tener en cuenta en su gestión.

### 9.2.1 GENERALIDADES

Las normas de aplicación actual que son de carácter internacional, establece que para la disposición de los biosòlidos es necesario que estos sufran un proceso de estabilización y para ello existen diversos métodos que incluyen:

• El ajuste del pH, o la estabilización alcalina.

• La digestión.

• El compostaje.

• El secado térmico.

Los sólidos eliminados en el tratamiento primario y que se concentran en el fondo de los tanques decantadores son llamados lodos primarios. Con el fin de disminuir el volumen de agua presente en este lodo y aumentar así su concentración, el lodo primario es espesado; para posteriormente realizar su estabilización mediante un tratamiento biológico controlado, el cual se realiza en ausencia de oxígeno dentro de unos tanques llamados digestores anaerobios.

En la estabilización de los lodos un gran porcentaje de la materia orgánica presente es transformada mediante bacterias, en un gas denominado biogás, el cual se compone principalmente por metano y dióxido de carbono. Finalmente,

el lodo estabilizado o biosólido es deshidratado para disminuir su contenido de humedad a un 70% en promedio.

### 9.2.2 TRANSPORTE

El transporte de biosólidos fuera de los predios de la planta de tratamiento de aguas residuales para su aprovechamiento y/o disposición final debe realizarse en vehículos cerrados y estancos, señalizados y cubiertos que protejan los biosólidos de la lluvia y la radiación solar, además que impidan escurrimientos, derrames, fugas y la emisión de olores durante su traslado.

Es importante resaltar que los Biosòlidos como se ha venido mencionando no están en la categoría de materiales peligrosos, ni especiales, lo anterior respecto a la normatividad, específicamente Res **No. 2309 del 24 de Febrero de 1986** por tanto la normatividad de transporte relacionada con este aspecto no aplica, aún así por las condiciones organolépticas de dicho material es necesario que el transporte del mismo se haga teniendo en cuenta las condiciones anteriormente relacionadas.

**Figura 7 Condiciones mínimas para el transporte**

Fuente: Autor, 2014

Seguros y ganchos de la compuerta. Empaque de compuerta, para evitar derrames, Señalización del Volco

Estas fotografías, son del tipo de caja o volco que viene siendo manejado para el transporte desde la planta de tratamiento de aguas residuales del Distrito hasta los predios en los cuales se hace disposición final y aprovechamiento finalmente el material obtenido.

### 9.2.3 RECEPCIÒN DE MATERIAL Y ALMACENAMIENTO

Actualmente los biosòlidos generados son transportados hasta un predio en donde se extiende, con el fin de que termine su proceso de secado. De acuerdo a los informes mensuales presentados por la Empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo de Bogotá a la autoridad ambiental, el cambio de humedad respecto al biosolido al momento de ser recepcionado respecto a la humedad del biosòlido que sale para disposición final, no se evidencia cambio sustancial que determine que este paso es condición sine quanon para la disposición final o aprovechamiento del biosòlido.

Adicionalmente, la EPA habla en cuanto a disposición final y aprovechamiento, solo cuando el biosòlido ha surtido un proceso de estabilización que en caso de los biosolidos de la planta del Distrito es estabilización por medio de la digestión, lo cual elimina la restricción sobre disposición de manera directa, de igual manera y aunque aún no se encuentra estatuido, el borrador de la norma que reglamentará dicho material no contempla condiciones especiales para dicho procedimiento.

El biosólido deberá ser recibido e inmediatamente ser dispuesto, con esto habrá un ahorro en costos por cuenta de acondicionamiento de grandes áreas especiales de almacenamiento y otras actividades asociadas a esto como la fumigación por cuenta de generación de vectores, un sitio de almacenamiento es necesario como alternativa transitoria y sólo en caso de alguna contingencia que exija el aplazamiento de la actividad de disposición directa.

Teniendo en cuenta lo anterior, la recepción de material lo único que exige es el acondicionamiento de los accesos a las zonas afectadas o en las cuales se requiera el material para aprovechamiento el proyecto borrador de norma revisado para los meses de noviembre – diciembre del 2013, establece:

*"Incorporar al suelo los biosólidos dentro de las seis (6) horas posteriores a su descarga o aplicación sobre el terreno."*[14].

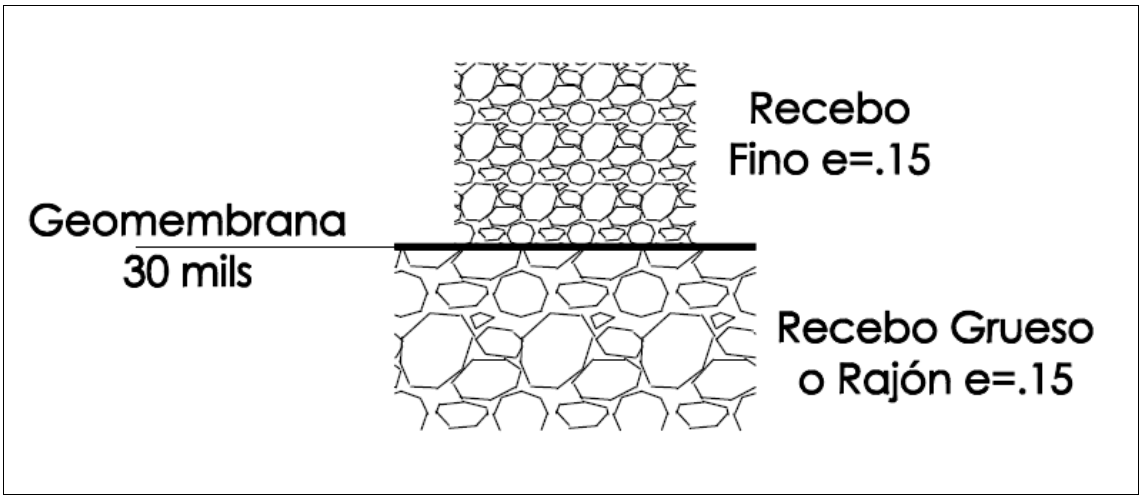
- *Condiciones del sitio de almacenamiento*

Teniendo en cuenta que la estación de almacenamiento es en caso de contingencias, la infraestructura será variable de acuerdo al tamaño y tiempo que vaya a establecerse las actividades de recuperación, en el caso de las canteras, el tiempo lo determina la vida útil de la misma y la capacidad de explotación, en estas igualmente la infraestructura debe corresponderse con un espacio que permita almacenar una cantidad de lodo considerable pero no como condición estacionaria del lodo de manera permanente.

La zona debe estar construida de tal manera que se garantice el aislamiento del biosólido del suelo y de las aguas subsuperficiales.

**Piso:** Este debe tener un aislamiento de mínimo 30 cm, organizado así:

**Figura 8 Condiciones del piso, para zonas de almacenamiento temporal.**




Fuente: Autor, 2014

[14] COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Por el cual se establecen los criterios de calidad para el uso de los Biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, se reglamentan los Artículos 8, 34, 178, 179, 181 y 182 del Decreto Ley 2811 de 1974" y se toman otras determinaciones" El Ministerio, 2013. p. 13.

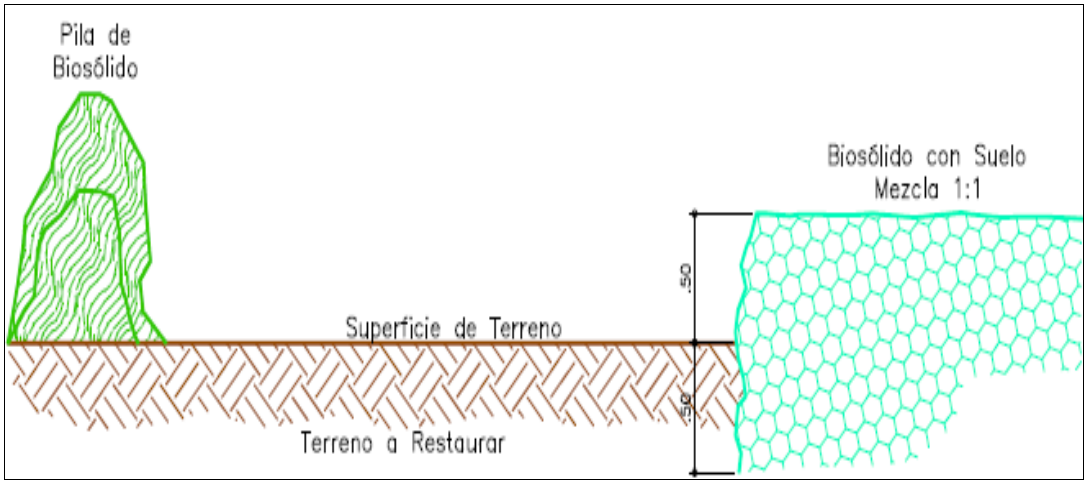
**Cubierta:** La zona de almacenamiento temporal debe estar cubierta, garantizando la entrada de corrientes de aire, per aislando las lluvias del biosólido, cn el fin de que éste no adquiera humedad.

### 9.2.4 MEZCLA BIOSÒLIDO – SUELO

De acuerdo a las zonas programadas para hacer la incorporación del material, se realizará una mezcla de suelo - biosolido que deberá tener una proporción de 1:1, lo anterior teniendo en cuenta la síntesis de la experiencia en el Relleno Sanitario Doña Juana para el año 2009 y actualmente en los predios El Corzo.

La altura para la superficie final definida de acuerdo a las experiencias anteriormente mencionadas es de una profundidad de 0.5 m para obtener la primera porción de mezcla y 0,5 sobre el terreno inicial, teniendo mezcla 1:1 con una capa final no mayor a 1 m.

**Figura 9 Mezcla Biosólido - Suelo**




Fuente: Autor, 2014

Para ello se deberá contar con el equipo adecuado, que hace referencia a la maquinaría que corresponda, basado en las condiciones especificas del terreno y a las condiciones climáticas.

- **Retro cargador de llanta**: para zonas en los cuales hay vías de acceso establecidas y se presenta tiempo seco.

- **Retroexcavadora sobre oruga o Buldócer**: para zonas de difícil acceso o en temporadas de lluvia, en las cuales las vías de acceso presentan fallos generando dificultades para ingresar a las áreas de mezcla y aprovechamiento.

Inmediatamente se realice la mezcla 1:1, el terreno deberá ser nivelado esto con la ayuda de la maquinaria empleada en mezcla, nunca compactado, ya que esto último dificultará la absorción de agua y la germinación de semillas que por la proliferación en razón del clima o acción del hombre se esparzan en el área.

De acuerdo a la experiencia propia, la revegetalización de los predios el Corzo no ha necesitado de la acción del hombre para el establecimiento de la gramínea que al cabo de unos meses de realizada la mezcla se observa. Aquí es importante resaltar que el suelo sobre el cual se estableció esta mezcla fueron zonas que servían algunas de escombreras y otras recibían residuos del interceptor Fucha Tunjuelo.

Es importante tener en cuenta, las posibles condiciones que se pueden encontrar en los terrenos susceptibles de llevar biosólidos para recuperación ya que no todos pueden por ser receptores de capa orgánica.

- **Talud**. Estos no deben tener pendientes mayores a 70% si se tiene en cuenta que con las lluvias pueden ser lavados y por acción de los vientos dadas las condiciones en las que queda el terreno, son más susceptibles de ser erosionados. Igualmente en zonas de pendiente ≥70% es importante tener en cuenta que las mezclas no deben realizarse en temporada de lluvias para que no ocurra proceso de lavado y erosión. El tiempo seco en estas zonas garantiza un periodo de estabilización del suelo.

**Figura 10 Manejo de talud**

Fuente: El Autor, 2014

De acuerdo a las experiencias analizadas, los suelos a los que se les ha adicionado biosólido, generalmente no requieren capa vegetal, esta se da naturalmente. Sin embargo en suelos que han sufrido casi hasta el punto de llegar a desertificación se requiere que de manera espaciada se esparzan semillas que ayuden a agilizar el proceso de revegetalización en dichas áreas.

## 9.3 RELACIÓN DE COSTOS REPRESENTATIVOS EN EL APROVECHAMIENTO DE BIOSÒLIDOS CLASE B.

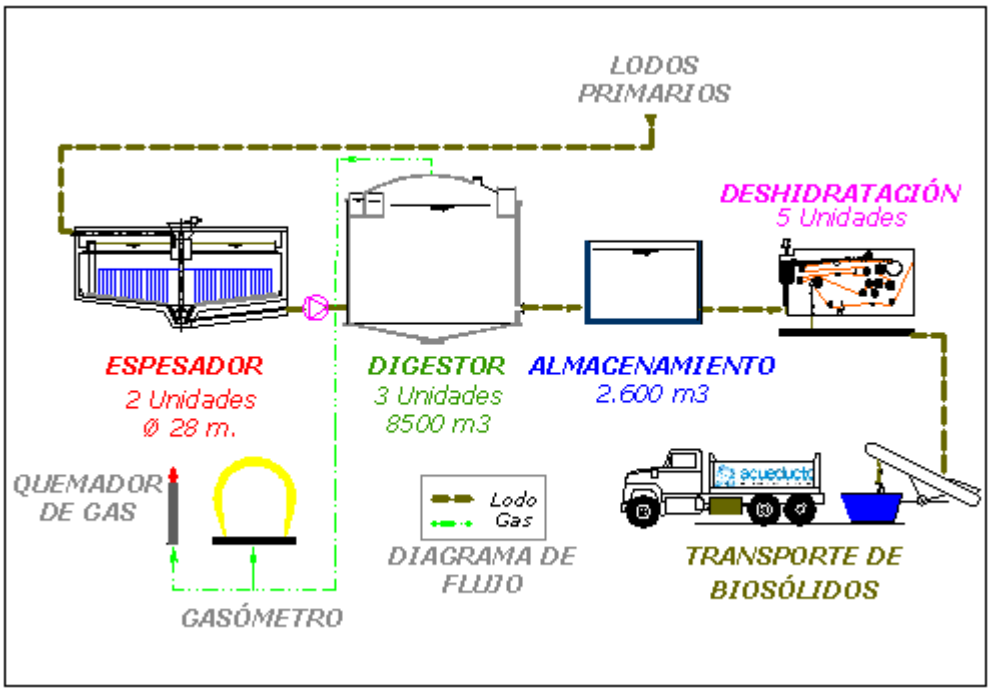
Para la descripción asociada a los proceso de Deposición y aprovechamiento del biosólido, se tienen en cuenta el conjunto de actividades relacionadas en el punto 9.2 referido a los Requerimientos, tal como se observa el manejo o requerimientos aunque demanda cuidado, no son actividades que involucren procesos complejos o un manejo especial o exclusivo difícil de abordar.

En este punto no se tendrá en cuenta el costeo de actividades de producción, dado que en la actualidad son las empresas encargadas de la prestación del servicio de acueducto y alcantarillado las encargadas y autorizadas de

producirlo, asociado a su actividad de entrega de aguas servidas con cargas contaminantes mínimas.

La gestión de los biosólidos producidos en una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en su diseño y operación. En la PTAR El Salitre se implementó un tratamiento de lodos que permite obtener un producto estabilizado y deshidratado (Figura 11).

**Figura 11. Esquema de tratamiento de lodos PTAR EL SALITRE.**




Fuente: EAB, 2014

Así las cosas los costos de los que se hablará en este punto se generan a partir del transporte.

Actualmente el transporte se realiza en vehículos doble troque con un sistema hidráulico que permite recoger el volco posterior al llenado en la planta generadora.

Este análisis relaciona los costos directos a tener en cuenta tal como se maneja actualmente, la empresa generadora entrega el biosólido en el sitio de disposición y aprovechamiento, y quien realiza dicha actividad se encarga algunos costos de transporte, en términos de no complejizar el análisis y lograr una aproximación superficial que ofrezca un panorama de costos, no se tendrá en cuenta la adquisición de equipos y su depreciación.

### 9.3.1 COSTOS DIRECTOS

- **Transporte**

Actualmente los costos que asume el operador del predio donde se realiza el aprovechamiento son los que se relacionan en la siguiente tabla.

**Tabla 7 Costos asociados al transporte**

| COSTOS ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD DE TRANSPORTE | | |
|---|---|---|
| **ITEM** | **MEDIDA** | **OBSERVACION** |
| Combustibles | Galones | Este se determina de acuerdo al tipo de vehículo, en la actualidad el consumo promedio por gal. de los vehículos, está en un promedio de 1,16 gal/Km recorrido. |
| Mantenimientos | Unidad | -Los mantenimientos están dados por dos aspectos, los mantenimientos correctivos y los mantenimientos preventivos, los primeros son difícil de determinar y constituyen costos variables de la operación, para los segundos tenga en cuenta los Km recorridos, es decir un vehículo dedicado a esta actividad requiere un mantenimiento preventivo cada mes (cumplidos 5000Km).<br>-Mantos a contenedores. |
| Cambios de llanta y Despinchadas | Unidad | Los cambios de llanta se realizan semestralmente, con ello a partir del mes 2 de haberlas cambiado se observa que los costos por despinchadas se deben calcular en un promedio de 1 llanta semanal. |
| Mano de Obra | Personas | *Se debe valorar, un encargado (Profesional).<br>*Conductores.<br>En este ítem se debe tener en cuenta, los |

| | | |
|---|---|---|
| | | valores asociados a salarios, prestaciones sociales y dotación. En la cuantificación de este, se descartan riesgos que la actividad de transporte se tiene en cuenta para la asignación de salario como condiciones de seguridad y orden público en la vía, dado que el material sería distribuido en la sabana.<br>Sumado a esto hay que tener en cuenta el costo por cuenta de las provisiones que es el equivalente al 46% de la nómina. |
| Dotaciones | Unidades | -Estos valores deben estar calculados de acuerdo a la condición de riesgos asociados a las tareas.<br>-Vacunación. |

Fuente: Autor, 2014

- **Recepción de material y almacenamiento**

Teniendo en cuenta lo que contempla el borrador de norma, no se estima una actividad que se desarrollaba en los cierres de la celda del relleno sanitario de Doña Juana, y que actualmente realizan en el sitio de disposición, dicha actividad se enmarca en la premisa de secado de biosólido a partir de un extendido durante algunos días previo a la mezcla 1:1 con suelo, en el punto de caracterización y donde se relacionan experiencias de uso del biosólido en Bogotá, se habla acerca de los cambios de humedad no representativos, en el material después de surtido el tiempo de extendido. En esta condición los biosólidos que se obtienen de la PTAR llegan estabilizados lo cual posibilita disposición y aprovechamiento directo la cual no debe sobrepasar 6 horas después de la recepción.

**Tabla 8 Costos asociados a la disposición y aprovechamiento.**

| COSTOS ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD DE DISPOSICION Y APROVECHAMIENTO. | | |
|---|---|---|
| **ITEM** | **MEDIDA** | **OBSERVACION** |
| **Maquinaria** | Unidad | En términos de costos es mejor tercerizar este ítem, evitando costos de mantenimiento combustibles y la depreciación de equipos es decir tenerlo por cuenta de alquiler ya sea alquiler por horas o valor por Ton. Dispuesta (este más barato que el anterior). En caso contrario la valoración de estos costos es definitiva pero incrementa los costos de producción. |
| **Mano de Obra** | Personas | *Operarios de recibo de material.<br>En este ítem se debe tener en cuenta, los valores asociados a salarios, prestaciones sociales y dotación. El número de personas, corresponde al tamaño de las zonas a restaurar y los tiempos de la actividad de cierre de zonas intervenidas. |
| **Dotaciones** | Unidades | -Estos valores deben estar calculados de acuerdo a la condición de riesgos asociados a las tareas.<br>-Vacunación. |
| **Materiales** | -Unidades.<br>-Metros cúbicos | -Insecticida.<br>-Herramienta menor.<br>-Inhibidor de olores. |

Fuente: Autor, 2014

**Actualmente, el valor por cuenta de Transporte, Disposición y Aprovechamiento asciende a $ 23.889 por Tonelada de biosólido.

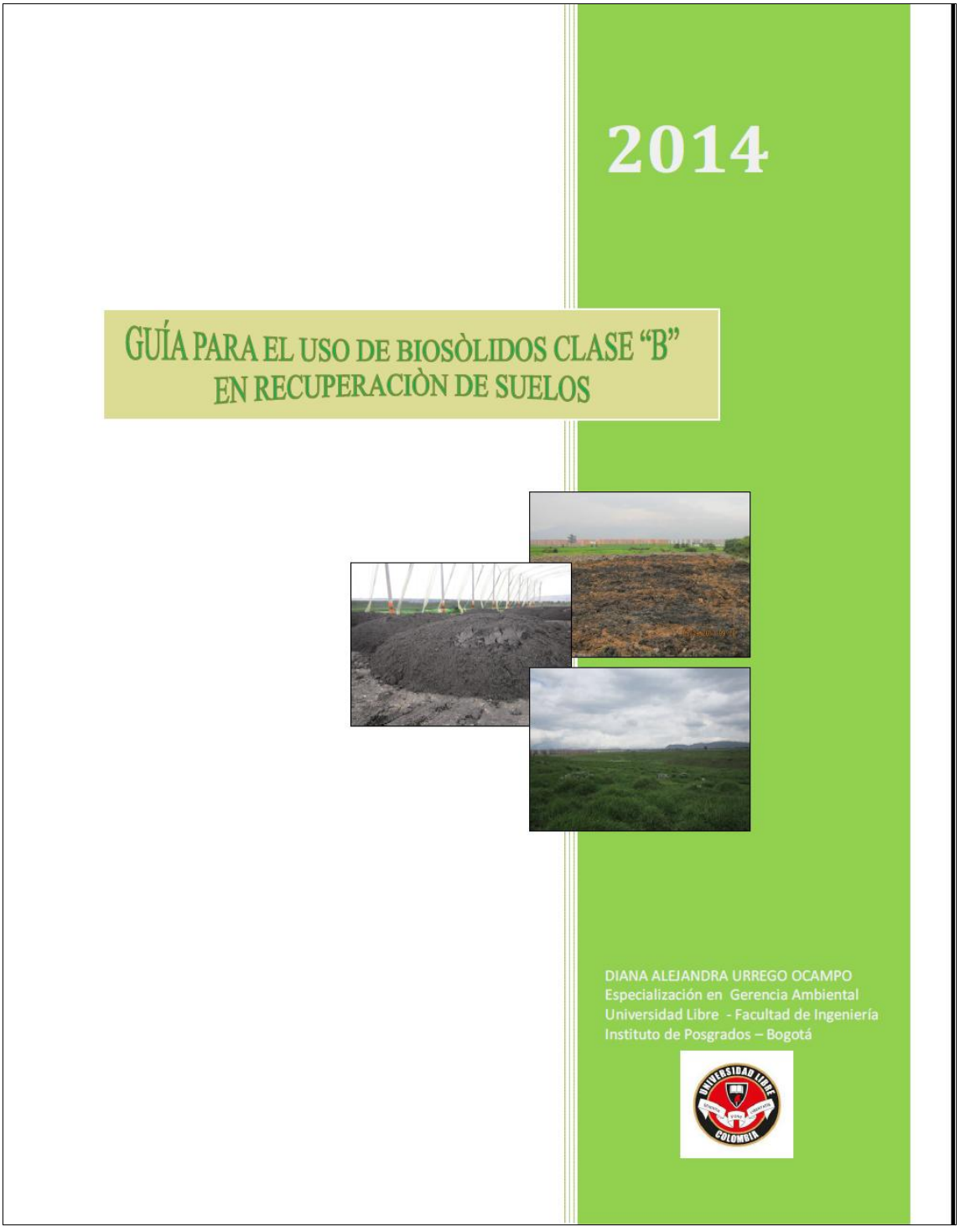
### 9.3.2 COSTOS DE OPORTUNIDAD

Para esta actividad los costos de oportunidad están dados por los beneficios asociados al uso de biosólido, ampliamente descritos en otros apartes del trabajo y que tienen que ver con la suficiencia del material para cumplir con las condiciones en términos agroecológicos que requiere un suelo y que en caso

contrario deberían ser subsanados con el uso de agroquímicos que generan problemas ambientales; así mismo no en todos los casos el paso de la revegetalización de áreas será necesario si se tiene presente la experiencia ya expuesta de una antigua escombrera aquí llamado predio El Corzo.

De igual manera, el precio de un producto está determinado por los costos de producción que serán cargados a él, en este caso el biosólido constituye un residuo de otra actividad lo que de entrada supone que el valor asignado a este subproducto no es alto, para quienes se convertirán en receptores de este material que partiendo de este supuesto obtendrán un insumo a bajo costo y mejores resultados.

## 9.4 GUÌA PARA EL USO DE BIOSOLIDOS PRODUCIDOS EN EL DISTRITO



# -GUÍA PARA EL USO DE BIOSÒLIDOS CLASE "B" PRODUCIDOS EN EL DISTRITO EN RECUPERACIÒN DE SUELOS-

## GUÍA PARA EL USO DE BIOSOLIDOS CLASE B PRODUCIDOS EN EL DISTITO EN RECUPERACION DE SUELOS DEGRADADOS

### INTRODUCCIÒN

Esta guía constituye un documento sencillo basado en el proyecto de Ley que reglamentará el uso de los biosólidos en Colombia, así mismo en la revisión de las normas establecidas por la EPA y finalmente en la consulta de trabajos académicos realizados en la ciudad de Bogotá al igual que algunas experiencias institucionales, que dan cuenta de la factibilidad del uso de los mismos en recuperación de suelos degradados.

### OBJETIVO

Evidenciar los elementos mínimos que posibilitan el uso de los biosólidos clase "B" en recuperación de suelos, teniendo en cuenta su futuro y proyecciones y que en Colombia las PTAR´s cumplen con ésta clasificación,

### GENERALIDADES

Todas las actividades sin excepción generan impactos, alteraciones y subproductos o residuos, incluidas las que tienen por objeto prevenir, mitigar, corregir o compensar daños ocasionados al medio ambiente. Es el caso de los biosólidos, que son lodos estabilizados producto del Tratamiento de las aguas residuales.

### CONCEPTOS

**Abono o Fertilizante**. Producto que aplicado al suelo o las plantas suministra a estas, uno o más nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo.

**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**. Aguas servidas de origen doméstico, comercial e institucional que contienen desechos orgánicos.

**Almacenamiento**. Mantenimiento en un sitio de los lodos y biosólidos de forma temporal, se excluye el uso de esta práctica como método de estabilización complementario de los lodos.

**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 se consideran 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.

**Digestión anaeróbica**. 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.

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

**Recuperación, mejoramiento o restauración de suelos degradados**. Aplicación de medidas correctivas con el fin de reparar, rehabilitar o corregir los procesos de degradación del suelo.

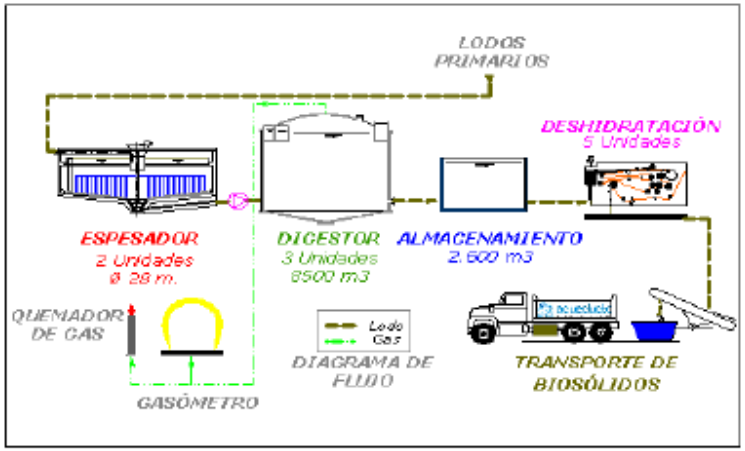
**Suelos degradados o disturbados**. Son aquellos que por actividades antrópicas o por fenómenos naturales han sufrido un proceso de pérdida de material superficial, pérdida de nutrientes o pérdida de su estructura original, afectando la capacidad de soporte de la vegetación preexistente o de los cultivos. 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.

**Usuario de biosólidos**. Persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza o adquiere los biosólidos del productor o del distribuidor.

### CARACTERIZACIÒN DE LOS BIOSOLIDOS PRODUCIDOS EN EL DISTRITO

Los lodos obtenidos en el distrito se dan en el marco de la gestión de las aguas residuales por parte de la empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo de la ciudad, la cual se resume en el siguiente esquema.

**Figura 1. Esquema de tratamiento de lodos PTAR EL SALITRE.**




**Fuente: EAB, 2014**

La EPA, establece las características o parámetros límites aceptables en aspectos como concentraciones máximas de metales pesados al igual que presencia de microorganismos; de acuerdo a la revisión del proyecto de ley que reglamentará el uso de los biosólidos en Colombia, los estándares de la EPA son base para la clasificación en el país, igualmente se tienen en cuenta algunas condiciones que establece el RAS.

Estos lodos, se clasifican en clase A, B o C de acuerdo al contenido de metales pesados y a su contenido de patógenos y parásitos. En Colombia, específicamente en Bogotá las caracterizaciones del biosólido lo enmarcan en un tipo de biosólido clase "B". Este tipo de biosólidos tiene restricciones para uso agrícola.

A diferencia de los de clase "A" de los cuales se afirma que son de características excepcionales y no tienen mayores restricciones de uso.

En la tabla 1 se relacionan los valores máximos aceptados para los diferentes parámetros y que conducen a la clasificación del Biosólido en una u otra clase.

**Tabla 1. Estándar de Presencia de Microorganismos según la EPA**

| TIPO | Densidad de Coliformes Fecales | Salmonella S.F | Densidad de Huevos de Helmintos | Densidad de Virus Entéricos. |
|---|---|---|---|---|
| **Clase A** | <1000 NMP/g ST | <3 NMP/4 g ST | ≤1 /4gST | ≤1 UFC/4gST |
| **Clase B** | 2 x $10^6$ NMP/gST | - | - | - |

**Fuente: El Autor, 2014**

**Tabla 2. Estándar para Concentraciones Máximas de Metales Pesados según la EPA**

| Metal | Concentración límite (mg/kg) | Tasas acumulativas de carga contaminante (mg/kg) | Concentración del contaminante (mg/kg) |
|---|---|---|---|
| Arsénico | 75 | 41 | 41 |
| Cadmio | 85 | 39 | 39 |
| Cobre | 4,300 | 1,500 | 1,500 |
| Plomo | 840 | 300 | 300 |
| Mercurio | 57 | 17 | 17 |
| Molibdeno | 75 | SL | NL |
| Níquel | 420 | 420 | 420 |
| Selenio | 100 | 100 | 100 |
| Zinc | 7,500 | 2,800 | 2,800 |

NL: no tiene límite establecido

**Fuente: EPA, 2000**

"En las siguientes tablas se registra los datos de los biosólidos generados en la ciudad y nuevamente se muestran los parámetros que ha establecido la EPA y que son base para la reglamentación en proceso de Colombia.

**Tabla 3. Concentración de Metales Pesados Para Biosólidos del Distrito**

| Parámetro (mg/kg) | Resultados Muestra compuesta Diciembre 1-31 | Mediana ene./04 – dic./13 | Rango intercuartílico ene./04 – dic./13 | Limites máximos permisibles EPA 503.13 (aplicación en suelos) | Limites máximos normativa europea. Council Directive[1] |
|---|---|---|---|---|---|
| Arsénico | 14.33 | 11.08 | (1.17 a 17.80) | 75 | No regular |
| Cadmio | 0.63 | 5.69 | (3.91 a 8.00) | 85 | 20-40 |
| Cobre | 216.3 | 177.2 | (143.5 a 212.4) | 4300 | 1000-1750 |
| Cromo | 49.00 | 75.86 | (62.88 a 93.24) | No regulado | No regulado |
| Mercurio | 3.40 | 2.74 | (1.54 a 4.73) | 57 | 16-25 |
| Molibdeno | 2.34 | 4.02 | (0.01 a 4.57) | 75 | —— |
| Níquel | 47.98 | 38.81 | (30.64 a 49.76) | 420 | 300-400 |
| Plomo | 37.90 | 84.34 | (60.65 a 100.30) | 840 | 750-1200 |
| Selenio | 10.40 | 4.09 | (0.08 a 11.70) | 100 | —— |
| Zinc | 1128.61 | 1072.0 | (953.7 a 1183.5) | 7500 | 2500-4000 |

Notas: Resultados en base seca
(1)Límites inferiores para pH en el suelo <7, y límites superiores pH suelo>7

Fuente: EAB, 2013

**Tabla 4 Características Físicas del Biosólido**

| Parámetros | Diciembre de 2013 | Promedio Histórico |
|---|---|---|
| Producción mensual (t) | 3545 | 4165[3] |
| Producción media diaria (t/d) | 114.4 | 136.9 (S=49.6) [3] |
| Humedad prom. Biosólido patio PTAR (%) | 70.9 | 68.8 (S=2.7) [3] |
| Humedad biosólido patio El Corzo (%) | 71 | 68[1] |
| Densidad aparente húmeda (t/m³) | 0.82 | 0.82 (S=0.11)[2] |
| Densidad de transporte (t/m³) | 1.25 | 1.25 (S=0.05)[4] |

(1) Promedio según reporte lab. muestreo puntual desde oct. /09
(2) Promedio desde ene. /06, excluyendo prueba de esfuerzo
(3) Promedio ago/2001-mar/2006; mar/2007 a la fecha. No se incluyó el periodo comprendido entre abril 01 de 2006 a febrero 28 de 2007, puesto que correspondió al desarrollo de las pruebas de esfuerzo en la PTAR
(4) Promedio desde enero de 2011

Fuente: EAB, 2013

**Tabla 5. Concentraciones microbiológicas en el Biosólido.**

| Parámetro | Unidad | Sitio de muestreo de biosólido | Resultado | Media Geométrica resultados jun. /2010-dic. /2013 | Norma EPA 40 CFR parte 503 |
|---|---|---|---|---|---|
| Coliformes Fecales | UFC/g | PTAR El Salitre | 3 | 4991 | Biosólido CLASE A [1]: <1x10³ NMP/g ó cumplir límite para salmonella sp. |
| | | El Corzo | 141004 | 9759 | Biosólido CLASE B: <2x10⁶ NMP/g ó UFC/g |
| Coliformes Totales | NMP/g | PTAR El Salitre | 24 | — | No requerido |
| | | El Corzo | 4491730 | | |
| Salmonella sp. | NMP/4g | PTAR El Salitre | 22.5 | 3.7 | Biosólido CLASE A [1] <3 NMP/4g ó cumplir límite para coliformes fecales |
| | | El Corzo | 1.0 | 1.6 | Biosólido CLASE B [2] |
| Huevos de Helminto | HH/2g | PTAR El Salitre | 133 | 42 [3] | Requiere conocer viabilidad de los huevos |
| | | El Corzo | 112 | 31 [3] | |
| Huevos de Helminto Viables | HH/4g | PTAR El Salitre | Pendiente | 23 [3] | Biosólido CLASE A [1]: <1 HH Viable/4g |
| | | El Corzo | Pendiente | 21 [3] | Biosólido CLASE B [2] |
| E. Coli | NMP/g | PTAR El Salitre | 1 | — | No requerido |
| | | El Corzo | No Requerido | | |

Fuente: EAB, 2013

* Comparando los parámetros que establece la norma 503 de la EPA y el RAS se evidencia la factibilidad del uso de biosólidos en las actividades permitida para los de categoría clase B de acuerdo a la tabla 2 y 4.

Fuente: BIOSOLIDOS PDF

**Tabla 6. Concentraciones físico químicas promedio en el biosólido.**

| Tipo de muestra biosólido PTAR | Parámetro | Unid. | Biosólido (Dic. /2013) | Promedio histórico | Gallinaza desecada industrialmente [1] |
|---|---|---|---|---|---|
| Puntual | Nitrógeno Total | % | 3.0 | 2.8 | 3.6 – 5.5 |
| | Nitrógeno | mg/kg | 2347 | 3979 | – |

# -GUÍA PARA EL USO DE BIOSÒLIDOS CLASE "B" PRODUCIDOS EN EL DISTRITO EN RECUPERACIÒN DE SUELOS-

| Tipo de muestra biosólido PTAR | Parámetro | Unid. | Biosólido (Dic. /2013) | Promedio histórico | Gallinaza desecada industrialmente (1) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Amoniacal | | | | |
| | Nitratos | mg/kg | <0.004 | 39.8 | – |
| | Nitritos | mg/kg | 3.680 | 1.559 | – |
| | pH | Unidad | 8.4 | 7.8 | – |
| Compuesta | Fósforo | % | 1.7 | 0.9 | 1.3-2.0 |
| | Potasio | % | 0.2 | 0.2 | 1.2-2.0 |
| | Hierro | % | 4.4 | 5.8 | – |
| | pH | Unidad | 7.8 | 7.3 | – |

Fuente EAB, 2013

Estas concentraciones demuestran que tienen potencial en cuanto a los nutrientes que requiere la vegetación para su crecimiento y desarrollo.

Es importante destacar que el uso de estos lodos modifica las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo: aumentando la retención del agua, mejorando su estructura, aporta macro nutrientes algunos de ellos se evidencian en la tabla 6., micronutrientes, incrementa la materia orgánica la actividad microbiana y se evita el uso de agroquímicos ayudando a disminuir la contaminación.

En cuanto a vectores, las pérdidas de SVT iguales o mayores a 38% disminuyen considerablemente la atracción de vectores y generación de olores de acuerdo a la guía de soporte elaborada por la EPA. El caso de los biosólidos obtenidos se tienen pérdidas de SVT históricos por encima de lo establecido este valor para dicho material ha alcanzado reducciones del 53% documentadas en tales casos se presenta una reducción aceptable de atracción de vectores y reduce la generación de olores.

## REQUERIMIENTOS

Ya se mencionaron los parámetros a cumplir en cuanto a concentraciones máximas de metales pesados y presencia de microorganismos, como el objeto de la guía es listar las condiciones mínimas para el uso de los biosólidos los cuales ya sabemos están clasificados en la categoría de los biosólidos clase "B"; este ítem hará una descripción de los aspectos sin los cuales la disposición y el aprovechamiento para recuperación de suelos se hace más complejo.

Las normas de aplicación actual que son de carácter internacional, establecen que para la disposición de los biosólidos es necesario que estos sufran un proceso de estabilización y para ello existen diversos métodos que incluyen:

- El ajuste del pH, o la estabilización alcalina.
- La digestión.
- El compostaje.
- El secado térmico.

Los sólidos eliminados en el tratamiento primario y que se concentran en el fondo de los tanques decantadores son llamados lodos primarios. Con el fin de disminuir el volumen de agua presente en este lodo y aumentar así su concentración, el lodo primario es espesado; para posteriormente realizar su estabilización mediante un tratamiento biológico controlado, el cual se realiza en ausencia de oxígeno dentro de unos tanques llamados digestores anaerobios.

En la estabilización de los lodos un gran porcentaje de la materia orgánica presente es transformada mediante bacterias, en un gas denominado biogás, el cual se compone principalmente por metano y dióxido de carbono. Finalmente, el lodo estabilizado o biosólido es deshidratado para disminuir su contenido de humedad a un 70% en promedio.

**"Transporte:** El transporte de biosólidos fuera de los predios de la planta de tratamiento de aguas residuales para su aprovechamiento y/o disposición final debe realizarse en velúculos cerrados y estancos, señalizados y cubiertos que protejan los biosólidos de la lluvia y la radiación solar, además que impidan escurrimientos, derrames, fugas y la emisión de olores durante su traslado. Los Biosólidos como se ha venido mencionando no están en la categoría de materiales peligrosos, ni especiales, lo anterior respecto a la normatividad, específicamente Res No. 2309 del 24 de Febrero de 1986

**"Recepción de Material y Almacenamiento:** El biosólido deberá ser recibido e inmediatamente ser dispuesto, con esto habrá un ahorro en costos por cuenta de

acondicionamiento de grandes áreas especiales de almacenamiento y otras actividades asociadas a esto como la fumigación por cuenta de generación de vectores, un sitio de almacenamiento es necesario como alternativa transitoria y sólo en caso de alguna contingencia que exija el aplazamiento de la actividad de disposición directa. La EPA habla en cuanto a disposición final y aprovechamiento, solo cuando el biosólido ha surtido un proceso de estabilización que en caso de los biosólidos de la planta del Distrito es por medio de la digestión, lo cual elimina la restricción sobre disposición de manera directa.

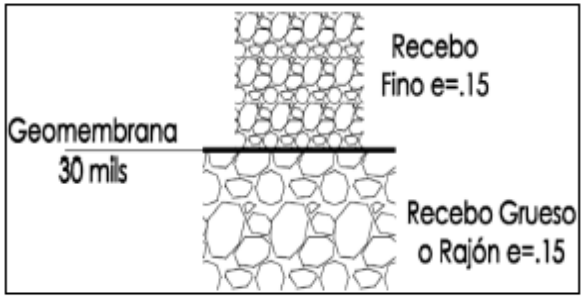
*"Incorporar al suelo los biosólidos dentro de las seis (6) horas posteriores a su descarga o aplicación sobre el terreno."*

**Condiciones del sitio de almacenamiento**: Teniendo en cuenta que la estación de almacenamiento es en caso de contingencias, la infraestructura será variable de acuerdo al tamaño y tiempo que vayan a establecerse las actividades de recuperación, en el caso de las canteras, el tiempo lo determina la vida útil de la misma y la capacidad de explotación, en estas igualmente la infraestructura debe corresponderse con un espacio que permita almacenar una cantidad de lodo considerable pero no como condición estacionaria del lodo de manera permanente.

- **Cubierta**: La zona de almacenamiento temporal debe estar cubierta, garantizando la entrada de corrientes de aire, per aislando las lluvias del biosólido, con el fin de que éste no adquiera humedad.

- **Piso**: La zona debe estar construida de tal manera que se garantice el aislamiento del biosólido del suelo y de las aguas subsuperficiales. Este debe tener un aislamiento de mínimo 30 cm, organizado así:

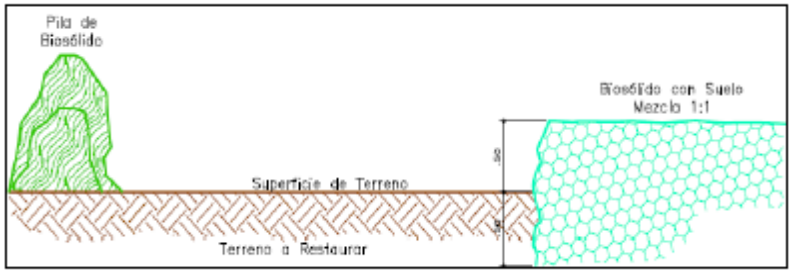
**Figura 1 Capa Aislamiento en Zona de Almacenamiento Temporal**




Fuente: El Autor, 2014

***Mezcla Biosólido – Suelo**: De acuerdo a las zonas programadas para hacer la incorporación del material, se realizará una mezcla de suelo – biosólido que deberá tener una proporción de 1:1, lo anterior teniendo en cuenta la síntesis de las experiencias en el Distrito en el Relleno doña Juana y los predios El Corzo. La altura para la superficie final definida de acuerdo a las experiencias anteriormente mencionadas es de una profundidad de 0.5 m para obtener la primera porción de mezcla y 0,5 sobre el terreno inicial, teniendo mezcla 1:1 con una capa final superior final no mayor a 1 m.

**Figura 2. Corte de suelo en Mezcla 1:1**




Fuente: El Autor, 2014

- Retro cargador de llanta: para zonas en los cuales hay vías de acceso establecidas y se presenta tiempo seco.
- Retroexcavadora sobre oruga o Buldócer: para zonas de difícil acceso o en temporadas de lluvia, en las cuales las vías de acceso presentan fallos generando dificultades para ingresar a las áreas de mezcla y aprovechamiento.

Inmediatamente se realice la mezcla 1:1, el terreno deberá ser nivelado esto con la ayuda de la maquinaria empleada en mezcla, nunca compactado, ya que esto último dificultará la absorción de agua y la germinación de semillas que por la proliferación en razón del clima o acción del hombre se esparzan en el área.

Para el caso de los biosólidos obtenidos se tienen pérdidas de SVT históricos por encima de lo establecido para los materiales del Distrito este valor para ellos está 53 %, en tal caso se presenta una reducción aceptable no sólo de la atracción de vectores sino de la generación de olores, sin embargo y dada la cercanía que pueden tener unos u otros predios donde se vaya a realizar el aprovechamiento, es recomendable el uso de algún producto inhibidor de olores que ayude en caso que el olor resulte ofensivo para pobladores cercanos. Se debe tener en cuenta, las posibles condiciones que se pueden encontrar en los terrenos susceptibles de llevar biosólidos para recuperación ya que no todos pueden por ser receptores de capa orgánica, a continuación la principal restricción.

**Figura 3 Mezcla 1:1 en talud 1 mes después.**

Fuente: El Autor, 2013

**Talud.** Estos no deben tener pendientes mayores a 90% si se tiene en cuenta que con las lluvias pueden ser lavados y por acción de los vientos dadas las condiciones en las que queda el terreno, son más susceptibles de ser erosionados. Igualmente en zonas de pendiente ≥70% las mezclas no deben realizarse en temporada de lluvias para que no ocurra proceso de lavado y erosión. El tiempo seco en estas zonas garantiza un periodo de estabilización del suelo, con las condiciones del material que se adiciona, se observa desarrollo de capa vegetal al mes y medio de establecido lo que mejora la estabilidad, mejora la retención del agua y mejora la estructura.

**Figura 4 Manejo de mezcla 1:1 en talud**

Fuente: El Autor, 2013

**Costos Directos**

A continuación encontrara una relación de los costos directo mínimos asociados a cada actividad.

***Costos Representativos en el Aprovechamiento de Biosólidos Clase "B"** Para estimar los costos, tenga en cuenta los aspectos que serán listados en las siguientes tablas

**Tabla 7. Aspectos para Valoración de Costos de Transporte**

| COSTOS ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD DE TRANSPORTE | | |
|---|---|---|
| **ITEM** | **MEDIDA** | **OBSERVACION** |
| **Combustibles** | Galones | Este se determina de acuerdo al tipo de vehículo, en la actualidad el consumo promedio por gal. de los vehículos, está en un promedio de 1,16 gal/Km recorrido. |
| **Mantenimientos** | Unidad | -Los mantenimientos están dados por dos aspectos, los mantenimientos correctivos y los mantenimientos preventivos, los primeros son difícil de determinar y constituyen costos variables de la operación, para los segundos tenga en cuenta los Km recorridos, es decir un vehículo dedicado a esta actividad requiere un mantenimiento preventivo cada mes (cumplidos 5000Km).<br>-Mantos a contenedores. |
| **Cambios de llanta y Despinchadas** | Unidad | Los cambios de llanta se realizan semestralmente, con ello a partir del mes 2 de haberlas cambiado se observa que los costos por despinchadas se deben calcular en un promedio de 1 llanta semanal. |
| **Mano de Obra** | Personas | *Se debe valorar, un encargado (Profesional).<br>*Conductores.<br>En este ítem se debe tener en cuenta, los valores asociados a salarios, prestaciones sociales y dotación. En la cuantificación de este, se descartan riesgos que la actividad de transporte se tiene en cuenta para la asignación de salario como condiciones de seguridad y orden público en la vía, dado que el material sería distribuido en la sabana.<br>Sumado a esto hay que tener en cuenta el costo por cuenta de las provisiones que es el equivalente al 46% de la nómina. |
| **Dotaciones** | Unidades | -Estos valores deben estar calculados de acuerdo a la condición de riesgos asociados a las tareas.<br>-Vacunación. |

Fuente: El Autor, 2014

**Tabla 8. Aspectos para Valoración de Costos en Disposición y Aprovechamiento**

| COSTOS ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD DE DISPOSICION Y APROVECHAMIENTO. | | |
|---|---|---|
| **ITEM** | **MEDIDA** | **OBSERVACION** |
| **Maquinaria** | Unidad | En términos de costos es mejor tercerizar este ítem, evitando costos de mantenimiento combustibles y la depreciación de equipos es decir tenerlo por cuenta de alquiler ya sea alquiler por horas o valor por Ton. Dispuesta (este más barato que el anterior). En caso contrario la valoración de estos costos es definitiva pero incrementa los costos de producción. |
| **Mano de Obra** | Personas | *Operarios de recibo de material.<br>En este ítem se debe tener en cuenta, los valores asociados a salarios, prestaciones sociales y dotación. El número de personas, corresponde al tamaño de las zonas a restaurar y los tiempos de la actividad de cierre de zonas intervenidas. |
| **Dotaciones** | Unidades | -Estos valores deben estar calculados de acuerdo a la condición de riesgos asociados a las tareas.<br>-Vacunación. |
| **Materiales** | -Unidades.<br>-Metros cúbicos. | -Insecticida.<br>-Herramienta menor.<br>-Inhibidor de olores. |

Fuente: El Autor, 2014

**Igual que en otros proyectos, calcule los costos referentes al AIU (Administraciòn Imprevistos y Utilidad) y asegurese que la informacion que obtiene o genera en relacion al calculo de costos directos, esté acorde con lo establecido en las normas legales y en el marco de un contrato por disposicion y aprovechamiento, que estén en concordancia con los términos de referencia.

**Costos de Oportunidad.**

Para esta actividad los costos de oportunidad están dados por los beneficios asociados al uso de biosólido, ampliamente descritos en otros apartes del trabajo y que tienen que ver con la suficiencia del material para cumplir con las condiciones en términos agroecológicos que requiere un suelo y que en caso contrario deberían ser subsanados con el uso de agroquímicos que generan problemas ambientales; así mismo no en todos los casos el paso de la revegetalización de áreas será necesario si se tiene presente la experiencia ya expuesta de una antigua escombrera aquí llamado predio El Corzo.

De igual manera, el precio de un producto está determinado por los costos de producción que serán cargados a él, en este caso el biosólido constituye un residuo de otra actividad lo que de entrada supone que el valor asignado a este subproducto no es alto, para quienes se convertirán en receptores de este material que partiendo de este supuesto obtendrán un insumo a bajo costo y mejores resultados.

**REFERENCIAS**

U.S. Environmental Protection Agency, 2000. *Folleto Informativo de tecnología de Biosólidos – Aplicación de Biosolidos al Terreno.* EPA 832_F_00_064 Washington, D.C United States: http://www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm.

EAB – BIOSÓLIDO –114 INFORME SOBRE LA GESTIÓN DEL BIOSÓLIDO PRODUCIDO EN LA PTAR EL SALITRE Y DE SEGUIMIENTO A SU APROVECHAMIENTO EN EL PREDIO "EL CORZO I" EN BOGOTÁ D.C. Obtenido el 26 de marzo de 2014 en http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/Informes2013/INFORME_FINAL_Diciembre_2013.pdf.htm

# 10. CONCLUSIONES

- Existen en el Distrito un número de considerable de trabajos académicos que involucran el análisis de pruebas de laboratorio, en los cuales se determina una y otra vez las características que dejan al biosólido que se produce en la PTAR El Salitre en la categoría de los biosólidos clase B, incluso en este proceso de tratamiento se obtienen valores muy por debajo de lo que establece la norma 503 de la EPA para la mayoría de sus parámetros. Así mismo la viabilidad técnica del uso del biosólido en la recuperación de suelos ha sido garantizada en varios de estos estudios académicos, los cuales basan sus resultados en ensayos pequeños; adicionalmente la PTAR El Salitre, en la gestión del tratamiento de las aguas residuales ha demostrado la viabilidad técnica y práctica en este aspecto, lo anterior se demuestra en los resultados de los trabajos en el cierre de algunas celdas y en el relleno de Doña Juana y actualmente, en la antigua escombrera situada en el predio El Corzo, ambas experiencias revisadas y avaladas por la autoridad ambiental.

- La determinación de los requerimientos técnicos, es importante teniendo en cuenta que esta próximo a salir el decreto que reglamenta el uso de los biosólidos en Colombia y que los posibles usuarios requieren de criterios claros para el uso del mismo, si bien es cierto que de acuerdo a las pruebas de laboratorio, el biosólido generado no es potencialmente dañido tal cual como se obtiene de la PTAR El Salitre, requiere como cualquier actividad unas condiciones de manejo especiales o no, que garanticen seguir minimizando los riesgos asociados al transporte, almacenamiento en caso de que se requiera, aprovechamiento y otros, en este caso en la determinación de requerimientos se logró establecer que este no es un material que requiera un manejo especial, y que las condiciones mínimas son tan sencillas que es fácil adelantarse a argumentar que en ese sentido los costos no son elevados y que cualquier persona entidad u otro

interesado puede fácilmente garantizarlas, dado que las exigencias no revisten mayor complejidad y que su comportamiento en términos de resultados tal como se mencionó anteriormente están asegurados, en términos técnicos, normativos y de resultados el biosólido resulta ser una gran posibilidad y alternativa para la recuperación y manejo de suelos degradados que casi sustituye el uso de agroquímicos, al igual que una posible solución en la disminución de la presión sobre otros recursos como extracción de tierra de otras áreas y así mismo material vegetal para enmiendas, con resultados muy satisfactorios.

- En esa misma vía, con la determinación de las condiciones técnicas y normativas mínimas al igual que los resultados de su uso, se puede realizar un acercamiento en términos de la determinación rápida de costos que permita vislumbrar si la alternativa que técnicamente demostró ser la mejor, económicamente también esté en ventaja; dadas esas condiciones técnicas sencillas se presenta esta también como una gran posibilidad en términos de costos, la premisa de que este material es un residuo o un subproducto de otro proceso, supone que su precio es bajo en relación con otros insumos que cumplirían funciones parecidas, adicionalmente, las condiciones técnicas mínimas son tan sencillas que su implementación y desarrollo no resultan ser tan costosas si se evalúan en términos de la relación costo – beneficio. Estos costos están determinados por las condiciones de los vehículos de transporte hasta el sitio de aprovechamiento, el personal que se encarga de las actividades de coordinación y desarrollo de las cosas particulares, la maquinaria empleada en los acondicionamientos de zonas y en las mezclas y los costos asociados al personal como dotaciones y vacunas.

  Así mismo se estableció que los costos de oportunidad están determinados por los beneficios asociados al uso de biosólidos o agroquímicos; por un lado los agroquímicos garantizan en los suelos donde se aplican ciertas condiciones favorables, sin embargo el uso de ellos genera impactos ambientales en términos de sus procesos productivos y efectos

secundarios en el ambiente, al igual que deben ir acompañados del uso de tierras de otras áreas para mezclar con las de las zonas a aprovechar cuando las condiciones de éstas son extremas y así mismo el uso de material vegetal lo que ocasiona presión sobre otros ecosistemas o áreas; el uso del biosólido supone una solución a los problemas de espacio o áreas disponibles para manejo de residuos en la ciudad, sus condiciones agrológicas representan beneficios para el suelo y en ocasiones no se requiere el uso de material vegetal de otras zonas, así las cosas es claro que el biosólido resulta no solo ser una alternativa técnica y ambientalmente viable sino también económicamente factible, por no decir la mejor alternativa.

# 11. RECOMENDACIONES

La discusión alrededor de la factibilidad del uso de los biosólidos ha estado permeada en muchos casos por el desconocimiento, así mismo las comunidades asumen que este además de enfermedades les va a generar malos olores, es importante tener en cuenta las condiciones socio culturales del área de influencia donde se van a aplicar, en ocasiones se pueden presentar quejas por olores debido a la presencia de sólidos volátiles aunque en este caso los biosólidos de la ciudad cumplen con el parámetro y lo sobrepasan. En caso de presentarse queja la norma 5880 establece la metodología y en que casos hacer muestreo y establecer planes de manejo para dicho olores que puedan resultar ofensivos.

Es importante que se incorpore al proceso de gestión de las aguas residuales la gestión de los subproductos no solo los lodos o biosólidos obtenidos y que estos dejen de ser tratados como residuos problemáticos para los cuales incluso se debe pagar por su disposición final y que estos empiecen a ser usados con el grado de importancia que pueden tener teniendo en cuenta que sus mejores beneficios con los que se pueda obtener el máximo provecho y minimizar las condiciones que puedan ser desfavorables de acuerdo a los casos específicos de aplicación por ejemplo los problemas en cuanto a las comunidades aledañas. Lo anterior si se tiene en cuenta que está ampliamente demostrado la factibilidad técnica de su uso.

# 12. BIBLIOGRAFÍA


- AMÉZQUITA TORRES, C. G Evaluación del Uso de Biosólido de l planta El Salitre como Sustrato en Procesos de Recuperación de Suelos. Bogotá, 2002. Trabajo de Grado Ingeniero Ambiental y Sanitario. Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. p. 6.

- APROVECHAMIENTO DEL BIOSOLIDO EN MEZCLA CON SUELO PARA LA COBERTURA DEL PREDIO EL CORZO. Bogotá. 2006. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá.

- BERMÚDEZ LÓPEZ, A. RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOSOLIDO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL SALITRE EN BOGOTÁ. Bogotá. 2013. Universidad Libre Colombia. Facultad de Ingeniería. Instituto de Posgrados. p.2, 49, 53.

- EPA. (1994) A Plain English Guide to the USEPA Part 503 Biosolids Rule.