

1-1-2017

## **Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento de lodos en una PTAP convencional. Caso de estudio : planta de tratamiento de agua potable de El Espinal - Tolima**

Angie Julieth Aldana Tique  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Ricardo Andrés Pérez Rojas  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)

---

### **Citación recomendada**

Aldana Tique, A. J., & Pérez Rojas, R. A. (2017). Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento de lodos en una PTAP convencional. Caso de estudio : planta de tratamiento de agua potable de El Espinal - Tolima. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/702](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/702)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

**PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LODOS EN  
UNA PTAP CONVENCIONAL. CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUA POTABLE DE EL ESPINAL - TOLIMA**

ANGIE JULIETH ALDANA TIQUE  
RICARDO ANDRÉS PÉREZ ROJAS

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
BOGOTÁ  
2017

**PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LODOS EN  
UNA PTAP CONVENCIONAL. CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUA POTABLE DE EL ESPINAL-TOLIMA**

TRABAJO DE GRADO

Requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

ANGIE JULIETH ALDANA TIQUE

RICARDO ANDRÉS PÉREZ ROJAS

Director

JESÚS ALFONSO TORRES ORTEGA

Ingeniero Químico. PhD en Ingeniería Química

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ

2017

Nota de aceptación

---

---

---

---

Jurado

---

Jurado

## **Agradecimientos**

Angie

Inicialmente a mis padres por su acompañamiento y apoyo a lo largo de mis años en la universidad con el fin de terminar mis estudios y por siempre inculcarme valores que cada día forjan en mí la persona que soy actualmente y la profesional que quiero llegar a ser. A nuestro Director de Trabajo de grado por sus enseñanzas y por haber sido una guía en el desarrollo de esta investigación.

Ricardo

A mis padres porque siempre me han impulsado a crecer y a ser mejor, a mi compañera de trabajo de grado y a nuestro director por su apoyo durante la elaboración de esta monografía.

## Tabla de contenido

1	Resumen .....	10
2	Abstract.....	11
3	Introducción.....	12
3.1	Formulación del problema .....	13
3.2	Justificación.....	14
4	Objetivos.....	15
4.1	Objetivo general .....	15
4.2	Objetivos específicos.....	15
5	Alcance .....	16
6	Marco Referencial .....	17
6.1	Normatividad lodos y biosólidos.....	17
6.2	Lodos residuales.....	17
6.2.1	Tipos de lodos y sus propiedades.....	18
6.2.2	Características fisicoquímicas de los lodos procedentes de una PTAP .....	20
6.2.3	Estabilización de lodos .....	21
6.2.3.1	Homogenización .....	22
6.2.3.2	Espesamiento de lodos.....	22
6.2.3.3	Deshidratación por lechos de secado.....	23
6.2.3.4	Deshidratación por lagunas de secado.....	23
6.2.3.5	Deshidratación mecánica.....	23
6.2.4	Tratamiento y/o disposición de lodos residuales .....	24
6.3	Biosólidos.....	29
6.3.1	Contaminantes en los biosólidos.....	30
6.3.2	Clasificación de biosólidos .....	30
6.3.2.1	Biosólido Clase A.....	31
6.3.2.2	Biosólido Clase B .....	32
6.3.3	Alternativas de uso de los biosólidos según el Decreto 1287/14.....	32
6.4	Condiciones del agua captada y tratada en la PTAP .....	34
7	Descripción del área de estudio .....	39
7.1	Recurso hídrico .....	39
7.1.1	Río Coello .....	39
7.1.2	Distrito de Usocoello .....	40
7.1.3	Quebrada El Espinal .....	41
7.2	Matriz ambiental – DOFA.....	41
7.3	PTAP de El Espinal - Tolima.....	44
7.3.1	Abastecimiento .....	45
7.3.1.1	Captación .....	45
7.3.1.2	Líneas de aducción .....	46
7.3.2	Unidades PTAP.....	47
7.3.2.1	Cámara de llegada .....	47
7.3.2.2	Canaleta Parshall .....	48
7.3.2.3	Floculación (3 unidades) .....	48
7.3.2.4	Sedimentación (3 unidades).....	49
7.3.2.5	Filtración (6 unidades).....	49

7.3.2.6	Cloración .....	50
7.3.3	Almacenamiento .....	50
7.3.4	Distribución.....	52
7.3.5	Control de calidad.....	52
7.3.5.1	Frecuencia de análisis de calidad.....	53
7.3.5.2	Laboratorio fisicoquímico y microbiológico.....	53
8	Metodología.....	54
9	Resultados y análisis de resultados.....	56
9.1	Recopilación de información .....	56
9.2	Fase 1. Potencial de aprovechamiento .....	57
9.2.1	Muestreo de los lodos .....	57
9.2.2	Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos .....	60
9.2.3	Comparación con el decreto 1287/14 .....	63
9.3	Fase 2. Evaluación de alternativas .....	67
9.3.1	Aplicación de lista de chequeo .....	67
9.3.2	Análisis de matriz DOFA para la alternativa seleccionada .....	79
9.4	Fase. 3 Formulación del plan de implementación.....	82
9.4.1	Esquema del plan de implementación.....	82
9.4.2	Análisis Costo – Beneficio (C/B) .....	84
9.4.3	Estudios complementarios de lodos generados en la PTAP .....	85
9.4.4	Reuniones de acercamiento entre la alcaldía y la EAAA E.S.P. ....	86
9.4.5	Adecuaciones técnicas para la evacuación de lodos .....	87
9.4.6	Estabilización de lodos por lechos de secado .....	87
9.4.7	Almacenamiento de biosólidos.....	92
10	Conclusiones.....	93
11	Recomendaciones .....	95
12	Bibliografía.....	97
13	Anexos.....	101
13.1	Anexo 1. Glosario de términos y definiciones .....	101
13.2	Anexo 2. Cadena de Custodia .....	103
13.3	Anexo 3. Recepción de la muestra .....	104
13.4	Anexo 4. Informe de resultados - Chemilab .....	105

## Listado de tablas

TABLA 1. MARCO NORMATIVO DE LODOS .....	17
TABLA 2. FUENTES DE SÓLIDOS Y DE LODOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	20
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS.....	21
TABLA 4. PROCESOS PRINCIPALES DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS.....	25
TABLA 5. FUNCIÓN PRINCIPAL DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS .....	26
TABLA 6. PARÁMETROS A DETERMINAR PARA CATEGORIZAR LOS BIOSÓLIDOS.....	31
TABLA 7. REGISTRO DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA CRUDA QUE INGRESÓ A LA PTAP EN MAYO DEL 2017 .....	35
TABLA 8. REGISTRO DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA CRUDA QUE INGRESÓ A LA PTAP EN AGOSTO DEL 2017 .....	36
TABLA 9. REGISTRO DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA TRATADA Y ALMACENADA EN LA PTAP EN MAYO DEL 2017 .....	37
TABLA 10. REGISTRO DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA TRATADA Y ALMACENADA EN LA PTAP EN AGOSTO DEL 2017 .....	38
TABLA 11. COMPARATIVO DISTRITOS DE RIEGO EN OPERACIÓN .....	40
TABLA 12. MATRIZ AMBIENTAL .....	42
TABLA 13. REPORTE DE RESULTADOS - MUESTRA DE LODO CHICORAL DEL SEDIMENTADOR NO.3 .....	62
TABLA 14. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN Y EL DECRETO 1287/14.....	64
TABLA 15. APLICACIÓN LISTA DE CHEQUEO .....	70
TABLA 16. MATRIZ DOFA.....	81
TABLA 17. ESTADOS FINANCIEROS DE LA EAAA ESP AÑO 2012.....	84
TABLA 18. ÁREA REQUERIDA SEGÚN LA FUENTE DEL LODO Y EL CUBRIMIENTO DEL LECHO .....	88

## Listado de Imágenes

IMAGEN 1. PTAP DE EL ESPINAL – TOLIMA.....	44
IMAGEN 2. DISTRITO DE RIEGO DE USOCOELLO.....	45
IMAGEN 3. CÁMARA DE LLEGADA DEL DISTRITO DE COELLO A LA PTAP. ....	47
IMAGEN 4. REGLETA PARA MEDICIÓN DE CAUDAL DE RECIBO DEL AGUA DEL DISTRITO DE RIEGO .....	48
IMAGEN 5. UNIDADES DE FLOCULACIÓN DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN. ....	48
IMAGEN 6. UNIDADES DE SEDIMENTACIÓN DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN .....	49
IMAGEN 7. UNIDADES DE FILTRACIÓN DE LA PTAP.....	50
IMAGEN 8. TANQUE ELEVADO DE TIPO “INSFOPAL” EN LA PTAP .....	52
IMAGEN 9. LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO – MICROBIOLÓGICO DE LA PTAP.....	53
IMAGEN 10. GENERACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA .....	58
IMAGEN 11. AGUA EN PROCESO DE TRATAMIENTO.....	58
IMAGEN 12. SALIDA DE LODOS DESPUÉS DEL LAVADO .....	59
IMAGEN 13. TOMA DE MUESTRA DE LODO .....	59
IMAGEN 14. MUESTRA DE LODO PARA ANALIZAR COLIFORMES FECALES .....	60
IMAGEN 15. CEMENTO PÓRTLAND.....	77
IMAGEN 16. LADRILLO CERÁMICO. ....	79
IMAGEN 17. EMPRESA PRODUCTORA DE CEMENTOS EN LA REGIÓN.....	85
IMAGEN 18IMAGEN X. EMPRESA LADRILLERA EN LA REGIÓN.....	86
IMAGEN 19. LECHOS DE SECADO.....	87

## **Listado de ilustraciones**

ILUSTRACIÓN 1. POSIBLES SOLUCIONES A ADOPTAR Y ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO.....	28
ILUSTRACIÓN 2. ESQUEMA PARA LA GENERACIÓN DE BIOSÓLIDOS.....	29
ILUSTRACIÓN 3. UNIDADES DE OPERACIÓN DE LA PTAP.....	47
ILUSTRACIÓN 4. ESQUEMA GENERAL DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA.....	55
ILUSTRACIÓN 5. DIAGRAMA DE PROCESO PARA LOGRAR EL APROVECHAMIENTO DE LOS BIOSÓLIDOS COMO ABONOS O ACONDICIONADORES DEL SUELO.....	72
ILUSTRACIÓN 6. FLUJO DEL PROCESO ACTUAL DE GENERACIÓN DE LODOS EN LA PTAP DE EL ESPINAL.....	82
ILUSTRACIÓN 7. ESQUEMA GENERAL DEL PLAN DE IMPLEMENTACIÓN.....	83

## **Listado de gráficas**

GRÁFICA 1. CONCENTRACIÓN DE LOS METALES DEL DECRETO 1287/14 PRESENTES EN LA MUESTRA .....	65
GRÁFICA 2. CONCENTRACIÓN DE METALES DEL DECRETO 1287/14 INCLUYENDO ALUMINIO (AL <sup>+3</sup> ) .....	66
GRÁFICA 3. PONDERACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA ALTERNATIVA MAS VIABLE.....	71

## **1 Resumen**

Actualmente la PTAP de El Espinal (operada por la EAAA E.S.P.) no realiza el tratamiento de los lodos que se generan de su operación. Tampoco realiza disposición adecuada de los mismos y no cuenta con un estudio que le permita determinar el potencial de aprovechamiento de los lodos que genera y las alternativas de tratamiento propias a las condiciones específicas de su operación. Dado que la empresa actualmente se encuentra intervenida por la superintendencia de servicios públicos, el factor económico es determinante y considerado un limitante para adelantar estudios que le permitan profundizar en este tema, por lo que actualmente se ve obligada a evacuar los lodos junto con el afluente que se genera en el lavado de las unidades que componen la PTAP, los cuales son conducidos por medio de una tubería que conecta con el sistema de alcantarillado y posteriormente vierten al cauce de la quebrada “El Espinal”, la cual finalmente desemboca en el río Magdalena. El proyecto tiene como objetivo seleccionar la alternativa de tratamiento y aprovechamiento de lodos que mejor se ajuste a las condiciones específicas de la PTAP de El Espinal – Tolima, mediante el análisis del potencial de aprovechamiento de los lodos generados, con base en la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los mismos y empleando herramientas de análisis combinado (lista de chequeo y matrices DOFA) que permitan analizar las alternativas y formular un plan de implementación donde se identifiquen las actividades necesarias para lograrlo y los responsables asociados a cada actividad. Se espera que el presente trabajo pueda ser aplicado en cualquier PTAP convencional que comparta las características de la PTAP de El Espinal – Tolima donde se requiera identificar la alternativa de tratamiento y aprovechamiento de lodos, que presente las mayores ventajas en términos ambientales, considerando el factor económico de la ejecución y operación de dicho sistema.

## 2 Abstract

Currently the PTAP of El Espinal (operated by the EAAA E.S.P.) does not treat the sludge that is generated from its operation. Neither does it make an adequate disposal of the same and does not have a study that allows it to determine the potential of use of the sludge that it generates and alternatives treatment proper to the specific conditions of its operation. Given that the company is currently operated by the superintendence of public services, the economic factor is a determining item and considered a limitation to advance studies that allow it to go deeper into this issue, and is currently forced to evacuate the sludge along with the tributary that is generated in the washing of the units that compose the PTAP, which are led by means of a pipe that connects with the sewage system and later they pour to the channel of the ravine "El Espinal", which finally ends in the river Magdalena. The project aims to select the alternative treatment and use of sludge that best fits the specific conditions of the Espinal - Tolima PTAP, through the analysis of the potential of the use of the sludge generated, based on the physicochemical characterization and microbiological analysis and using combined analysis tools (DOFA checklist and matrices) to analyze the alternatives and formulate an implementation plan that identifies the activities necessary to achieve this and those responsible for each activity. It is expected that the present work can be applied in any conventional PTAP that shares the characteristics of the El Espinal - Tolima PTAP where it is necessary to identify the alternative of treatment and use of sludge, which presents the greatest advantages in environmental terms, considering the factor of the execution and operation of said system.

### 3 Introducción

Las investigaciones relacionadas con el manejo de los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, aparecen a comienzos del siglo XX con el surgimiento de los procesos para tratar las aguas servidas y la consecuente generación de grandes volúmenes de lodo. El manejo de los lodos ha evolucionado durante los últimos 50 años en la búsqueda de alternativas para la disminución de sus costos de tratamiento y disposición final, los que hoy representan el 50% del costo total del tratamiento de las aguas residuales. En la actualidad, los estudios se han enfocado hacia la búsqueda de alternativas para la transformación del lodo en un material útil para ser dispuesto en el suelo, debido principalmente a que cada vez son menores las áreas aptas para la construcción de sitios de disposición final y a los problemas asociados a la contaminación atmosférica generada por la incineración de estos residuos [5].

El tratamiento de agua para consumo humano produce lodos residuales considerados como residuos o subproductos generados en la operación de las PTAP, los cuales al no ser manejados correctamente pueden generar problemas ambientales y derivar en sanciones por parte de la autoridad ambiental competente. Una buena gestión de los lodos es fundamental para el funcionamiento de cualquier instalación de depuración de aguas [6].

Para la realización del proyecto se ha contado con el apoyo de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo – EAAA E.S.P., y específicamente con la participación de la Ing. Yajaira Perdomo encargada de la operación de la PTAP. Además, se han consultado diferentes autores que han escrito sobre el tratamiento y aprovechamiento de lodos.

El presente trabajo utilizó el método de investigación de “Estudio de Caso” con el fin de realizar la evaluación cualitativa de las alternativas de tratamiento y aprovechamiento de lodos en una PTAP convencional. El trabajo se encuentra a disposición de los grupos de interés relacionados con plantas de tratamiento de agua potable, donde podrán consultar información académica de alternativas de tratamiento y aprovechamiento de los lodos generados en el proceso de potabilización, además busca generar un cambio en la percepción de la comunidad sobre el aprovechamiento y re-uso de lo que consideran un “desperdicio” como en este caso los lodos residuales. Por último, pretende proporcionar a la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo Empresa de Servicios Públicos - EAAA E.S.P. un primer acercamiento informativo e investigativo sobre el marco normativo que involucra el tratamiento de lodos, las características de los lodos generados en la PTAP, las técnicas de estabilización de lodos existentes y la alternativa de tratamiento y aprovechamiento de lodos que mejor se ajusta a las condiciones de la planta.

### **3.1 Formulación del problema**

Actualmente la planta de potabilización de agua de El Espinal no tiene un sistema de manejo, tratamiento y aprovechamiento o disposición de los lodos residuales que genera. Estos lodos son descargados al sistema de alcantarillado del corregimiento de Chicoral y este a su vez vierte las aguas que transporta a la quebrada “El Espinal”, llegando posteriormente al río Magdalena. Debido a que en el proceso de potabilización del agua se adicionan químicos para lograr cumplir con el Índice de Calidad del Agua ICA, estos quedan contenidos en los lodos residuales, potenciando así la alteración de las propiedades fisicoquímicas del recurso hídrico al que son vertidos y elevando la probabilidad de imposición de sanciones por parte de la autoridad ambiental competente,

creando la necesidad de estudiar y analizar las alternativas de tratamiento de lodos que presenten mayor viabilidad para el caso de estudio.

### **3.2 Justificación**

La falta de un manejo sostenible de lodos residuales surge del desperdicio del potencial de aprovechamiento de los mismos y debido a esto terminan por disponerse como residuos sólidos disminuyendo así la vida útil de los rellenos sanitarios, o como vertimientos aguas abajo del punto en el que son captados. Es por esta razón que se deben aunar esfuerzos en la implementación de tratamientos adecuados que permitan la utilización racional de dichos lodos y de esta manera lograr minimizar la cantidad de residuos dispuestos en los rellenos sanitarios y la contaminación de las fuentes naturales de agua, promoviendo su conservación y cuidado, haciendo frente a dos de los problemas de mayor latencia que enfrenta el país en temas de gestión de sus residuos.

## **4 Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Proponer un sistema para el aprovechamiento y tratamiento de lodos mediante el estudio de caso de la PTAP de El Espinal - Tolima que responda a las necesidades técnicas y operacionales de la planta.

### **4.2 Objetivos específicos**

- ✓ Determinar el potencial de aprovechamiento de los lodos residuales por medio de caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas.
  
- ✓ Seleccionar la alternativa de tratamiento y aprovechamiento de lodos por medio de herramientas de evaluación combinada (checklist y matriz DOFA) que se ajuste a las características del estudio de caso.
  
- ✓ Formular el plan de implementación de la alternativa seleccionada que contenga las actividades para su implementación y los responsables encargados.

## 5 Alcance

El presente trabajo investigativo comprende la ejecución de un muestreo de lodos y la caracterización de los mismos, que permita determinar su potencial de aprovechamiento en comparación con el marco normativo nacional establecido para el manejo, tratamiento y aprovechamiento de lodos. También comprende la evaluación cualitativa de las alternativas de tratamiento y aprovechamiento de lodos mediante herramientas de análisis combinado que permita identificar la alternativa que presente las mayores ventajas según las características específicas del caso de estudio y la formulación de un plan de implementación que le permita a la empresa conocer las actividades que se deben realizar para implementar la alternativa seleccionada.

La investigación se realizó en época de sequía; aunque se verificaron caracterizaciones de agua cruda en época de lluvia, el estudio se realizó en su totalidad en época de sequía, por tal razón los resultados están sujetos a este periodo climatológico.

La EAAA E.S.P., podrá consultar la investigación y así contar con información inicial sobre alternativas de tratamiento y aprovechamiento de los lodos, sin embargo, el presente estudio es de carácter investigativo y no pretende ser un insumo para la toma de decisiones por parte de la administración de la EAAA E.S.P., se deben hacer estudios adicionales para la implementación de la alternativa seleccionada.

## 6 Marco Referencial

### 6.1 Normatividad lodos y biosólidos

Para el desarrollo del presente trabajo se revisó y utilizó como sustento la siguiente normatividad:

*Tabla 1. Marco normativo de lodos*

<b>Norma</b>	<b>Objeto</b>
NTC 5167 de 2004	Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo.
Decreto 1287 de 2014	“Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”.
Resolución 0330 de 2017	“Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS...”
RAS - C	En el título C “Sistemas de potabilización”, en la sección 4 se describe el procedimiento para el manejo de lodos producidos en las PTAP.
RAS - I	En el título I “Componente ambiental y fichas técnicas de buenas prácticas para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo” se establecen buenas prácticas para el manejo de lodos.

Fuente: Autores

### 6.2 Lodos residuales

Son sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes de la limpieza de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización. Las características del lodo proveniente de una planta de tratamiento de agua potable dependen del origen del agua cruda y de los sistemas u operaciones unitarias usados en el tratamiento del agua. Diferentes procesos de

tratamiento generan diferentes tipos y volúmenes de lodo. En una planta en particular, las características del lodo pueden cambiar anual, estacional o diariamente [2].

### 6.2.1 Tipos de lodos y sus propiedades

Existen diversos tipos de lodos, según el proceso, tratamiento u operación unitaria por la que se trate el agua se obtienen los siguientes subproductos [3]:

- ✓ **Lodos de decantación primaria:** Son generalmente de consistencia limosa y color de marrón a gris, volviéndose sépticos y generando mal olor con gran facilidad.
- ✓ **Lodos de precipitación química:** Son de color negro y su olor, aunque puede llegar a ser desagradable, lo es menos que los correspondientes a una decantación primaria.
- ✓ **Lodos de tratamiento secundario:** Son de color marrón, relativamente ligeros, y por estar bien aireados, no suelen producir olor con tanta rapidez como los lodos primarios. Sin embargo, sino se encuentran lo suficientemente aireados, su color se oscurece y producen un olor tan fuerte como el lodo primario.
- ✓ **Lodos de lechos bacterianos:** Son de color marrón y no producen olores molestos si están frescos. Se degradan a una velocidad menor que los lodos procedentes del sistema secundario, salvo en el caso que contengan organismos superiores (por ejemplo gusanos), y en cuyo caso si se pueden dar olores rápidamente.
- ✓ **Lodos digeridos:** Son de color negro y tienen olor a tierra. Este lodo tiene origen en los procesos de digestión aeróbica. Generalmente contienen una proporción de materia orgánica entre el 45 y 60 %.

Otra bibliografía clasifica los lodos de la siguiente manera [4]:

- ✓ **Lodos aprovechables:** Son los lodos provenientes de un proceso de tratamiento que puede ser reutilizado directa o indirectamente en reciclaje, compostaje, generación de energía, entre otros. La mayoría de los lodos provenientes de los procesos de tratamiento aerobios y anaerobios de las plantas de tratamiento de aguas residuales, una vez estabilizados, pueden ser utilizados como abonos, acondicionadores y restauradores de suelos.
- ✓ **Lodos no aprovechables:** Son lodos que no tienen características aceptables para algún aprovechamiento, por ejemplo, tienen muy poca o nula carga orgánica o poder calorífico muy bajo, estos pueden ser desechados junto con los residuos sólidos de origen doméstico en rellenos municipales o mono rellenos. En esta categoría se encuentran los retenidos por rejillas gruesas y finas de las plantas de tratamiento.
- ✓ **Lodos peligrosos:** Son aquellos que contienen sustancias que pueden causar daño a la salud humana o al medio ambiente que deben ser dispuestos en sitios especiales con las medidas adecuadas de seguridad. Comúnmente se suele confundir el término lodo y biosólido. La principal diferencia radica en que el biosólido es un lodo ya estabilizado, es decir, que ha tenido un proceso de tratamiento destinado a reducir la capacidad de fermentación, atracción de vectores y patogenicidad, logrando reducir el nivel de peligrosidad y el grado de restricción para su reutilización.

A continuación, se resumen las principales fuentes de sólidos y de lodos en una planta convencional de tratamiento de aguas residuales [7]:

Tabla 2. Fuentes de sólidos y de lodos en el tratamiento de aguas residuales

Unidad	Tipo de solido o lodo	Observaciones
Cribado	Solidos gruesos	Los sólidos retenidos por la criba son removidos manual o mecánicamente.
Desarenadores	Arena y Espuma	A menudo, se omite la remoción de espuma en desarenadores.
Pre-aireación	Arena y Espuma	A menudo, se omite la remoción de espuma en la pre aireación, puede ocurrir sedimentación de arena si no existe desarenadores antes de la pre aireación.
Sedimentación primaria	Lodo y espuma primarios	La cantidad depende del tipo de agua residual afluyente.
Tratamiento biológico	Solidos suspendidos	Los sólidos suspendidos son el resultado de la síntesis biológica de la materia orgánica.
Sedimentación secundaria	Lodo y espuma secundarios	La remoción de espuma es requisito exigido por la USEPA.
Tratamiento de lodos	Lodo, compost, cenizas	El lodo obtenido depende de su origen y del proceso usado en su tratamiento.

Nota: Romero (2005).

### 6.2.2 Características fisicoquímicas de los lodos procedentes de una PTAP

Los lodos procedentes de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable están compuestos fundamentalmente por las materias presentes en el agua bruta y que por oxidación, coagulación y precipitación han sido retenidos en los decantadores (sedimentadores) y filtros (desarenadores) así como por sustancias (óxidos e hidróxidos) procedentes del floculante y otros reactivos como cal, permanganato, carbón, que se han empleado en el tratamiento [2]. Las sustancias contenidas en el agua bruta son generalmente inertes, por ejemplo arcillas, arenas, etc. Además de orgánicas como el plancton y otros microorganismos. De aquí que las características de los lodos varíen en función de la calidad del agua bruta y del tratamiento de potabilización aplicado a esta.

Todos los lodos tienen un contenido bajo de sólidos (1-6 %), por ello la disposición de su pequeño contenido de sólidos requiere el manejo de un gran volumen de lodo. El problema principal en el tratamiento de lodos radica por tanto en concentrar los sólidos mediante la máxima remoción posible de agua y en reducir su contenido orgánico. La cantidad de lodo producido es muy variable, dependiendo del proceso de tratamiento usado. El volumen de lodo depende principalmente de su contenido de agua y muy poco del carácter del material sólidos. El contenido de agua se expresa normalmente como porcentaje en masa; por ejemplo, un lodo con 90% de humedad contiene un 90 % de agua en masa y un 10% de sólidos en masa.

*Tabla 3. Características de los lodos*

<b>Proceso</b>	<b>% Humedad del lodo</b>		<b>Densidad relativa</b>	
	<b>Intervalo</b>	<b>Típico</b>	<b>Sólidos</b>	<b>Lodo</b>
Sedimentación primaria	88-96	95	1,4	1,02
Filtro percolador	91-95	93	1,5	1,025
Precipitación química	-	93	1,7	1,03
Lodos activados	90-93	92	1,3	1,005
Tanques sépticos	-	93	1,7	1,03
Tanques Imhoff	90-95	90	1,6	1,04
Aireación prolongada	88-92	90	1,3	1,015
Lodo primario digerido anaerobiamente	90-95	93	1,4	1,02
Laguna aireada	88-92	90	1,4	1,01
Lodo primario digerido aerobiamente	93-97	96	1,4	1,012

*Nota:* Romero (2005).

### **6.2.3 Estabilización de lodos**

El decreto 1287 del 2014 define la estabilización de lodos como el proceso que comprende los tratamientos destinados a controlar la degradación biológica, la atracción de vectores y la patogenicidad de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales

acondicionándolos para su uso o disposición final. La resolución 0330 de 2017 en su artículo 125<sup>1</sup> establece los procedimientos mediante los cuales se estabilizan los lodos y ratifica la obligatoriedad de realizar este proceso de tratamiento previo al aprovechamiento, almacenamiento, descarga o disposición final de los lodos. Las técnicas de estabilización de los lodos descritas en el decreto son:

### **6.2.3.1 Homogenización**

Se tendrá que dimensionar una estructura en la cual se asegure mezcla completa, cuyo volumen sea como mínimo equivalente a poder almacenar el volumen de purga del sedimentador, más el 40% del volumen de lavado de un filtro. El tiempo de retención no podrá superar las 6 horas, la geometría del tanque podrá ser circular, rectangular, o de otra superficie que garantice flujo a pistón; siempre y cuando se garantice un nivel de potencia del mezclado superior a 5 W/m<sup>3</sup>.

### **6.2.3.2 Espesamiento de lodos**

Deberá diseñarse un sistema con tasa de carga superficial para lodos de hidróxido entre 15 – 25 kg/m<sup>2</sup>/d y para lodos de ablandamiento entre 100 – 200 kg/m<sup>2</sup>/d, con tiempo de retención de entre 6 a 12 horas y concentración de sólidos media de salida del 6%. Se permitirá considerar tecnologías

---

<sup>1</sup> Parágrafos que condicionan la estabilización de los lodos en el artículo 125 de la Resolución 0330/17. *Parágrafo 1°*. En el caso de una PTAP existente que tenga alguno de los tipos de tratamiento mencionados en este Artículo, se deberá evaluar la pertinencia de complementar el tren de tratamiento de lodos, a partir del aprovechamiento de la infraestructura construida, según su eficiencia y parámetros de concentración de salida de los sólidos tratados.

*Parágrafo 2°*. De acuerdo con la caracterización de los lodos y la eficiencia del tratamiento definido, se tendrá que evaluar la necesidad de utilizar productos químicos (coagulantes, floculantes, coayudantes, alcalinizantes y acidificantes) para su acondicionamiento y, de ser así, implementar esta actividad antes de la entrada a las estructuras de tratamiento de lodos. *Parágrafo 3°*. Cuando la capacidad de producción de la PTAP sea menor de 100 l/s, y se tengan concentraciones de lodos menores o iguales del 4%, se aceptará que la estructura de entrada al tren de tratamiento de lodos trabaje como homogeneizador y espesador de manera simultánea, sin embargo, se deben garantizar una concentración de sólidos entre 25 a 35% a la salida del sistema.

que empleen sistemas de espesamiento mecánico o por etapas combinadas ya sea gravitacional y mecánico, para lo cual se deberán justificar las diferentes tasas en función del tipo de tecnología y coagulante empleado en la planta.

### **6.2.3.3 Deshidratación por lechos de secado**

Es una técnica manual en donde se deben tener mínimo cuatro celdas. Su diseño depende del caudal de salida de la descarga de lodos o de espesamiento, con profundidades de aplicación de 0.3 a 0.9 metros; para lodos sin acondicionar, se deben aplicar cargas de entre 15 a 20 lt de lodo/m<sup>2</sup>/día, con un ciclo de secado de 3 a 4 días.

### **6.2.3.4 Deshidratación por lagunas de secado**

Es una técnica manual en donde se deben tener mínimo dos lagunas, considerándose que ocurren de manera implícita los procesos de homogeneización, espesamiento y deshidratación. Diseñada a partir del parámetro de carga de sólidos comprendido entre 40 kg/m<sup>2</sup>/d para regiones húmedas y 80 kg/m<sup>2</sup>/d para regiones secas; la profundidad de la laguna debe estar entre 0.50 y 1.20 metros.

### **6.2.3.5 Deshidratación mecánica**

Son los filtros prensa, filtros prensa de banda, filtros al vacío y centrifugas/decanter, que deben garantizar una concentración de sólidos entre 25% a 35% a la salida, de acuerdo con las siguientes especificaciones que deben ser entregadas al fabricante del equipo: la concentración de sólidos a la entrada, el tipo de composición del lodo, temperatura, y el caudal de lodo o carga de lodo afluente (según lo requiera el equipo).

#### **6.2.4 Tratamiento y/o disposición de lodos residuales**

En los procesos de tratamiento de aguas los contaminantes separados en el proceso de depuración se concentran en forma de lodos. Este residuo tendrá unas características diferentes según las características del agua tratada [3].

El primer paso para poder tratar los lodos es estabilizarlos (homogenizarlos y deshidratarlos) para disminuir su volumen y reducir su capacidad de fermentación, atracción de vectores y patógenos, y a partir de ahí se pueden alcanzar diferentes tipos de aprovechamiento:

- ✓ Recuperación de reactivos químicos presentes para su reutilización.
- ✓ Generación de biogás y aprovechamiento del poder calorífico para generación de calor y de energía eléctrica.
- ✓ Utilización como abono orgánico.
- ✓ Recogida en un vertedero autorizado.

Así mismo, existen una serie de condicionantes para su aplicabilidad:

- ✓ Contenido de metales que pueden llevar a valores límites de toxicidad, desconociéndose en muchos casos los efectos reales de concentración de metales depositados en el suelo o sobre las plantas.
- ✓ Presencia de patógenos y semillas indeseables que puedan hacer inutilizable el lodo en ciertos casos.
- ✓ El vertido al mar de los lodos puede hacerse de forma líquida, después de haber sido digerido (digestión aerobia o anaerobia). Debe considerarse que el mar también tiene sus límites como receptor de residuos.

- ✓ El depósito en escombreras, se deben considerar las mismas condiciones de disposición como residuos sólidos.
- ✓ La incineración de los sólidos requiere igualmente un pre secado de los lodos, consumo de energía y presenta un peligro de contaminación atmosférica según el tipo de incinerador utilizado.
- ✓ El acondicionamiento químico del lodo requiere del empleo de grandes dosis de cal  $\text{Ca(OH}_2\text{)}$  o de cloruro férrico ( $\text{CL}_3\text{Fe}$ ), lo que supone un costo elevado de eliminación. Otras consideraciones importantes irán dirigidas a la recuperación energética, buscando la utilización del gas metano, producido en la digestión anaerobia del tratamiento de lodos residuales.

*Tabla 4. Procesos principales de tratamiento y disposición de lodos*

<b>Tratamiento</b>	<b>Proceso principal</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Proceso principal</b>
<b>Concentración</b>	✓ Desarenado	<b>Disposición</b>	✓ Aplicación sobre el suelo
	✓ Sedimentación		✓ Incineración
	✓ Espesadores mecánicos		✓ Relleno sanitario
	✓ Flotación		✓ Lagunas
	✓ Centrifugación		✓ En el mar
<b>Digestión</b>	✓ Aerobia	<b>Secado</b>	✓ Lechos de secado
	✓ Anaerobia		✓ Calor
	✓ Oxidación húmeda		✓ Otros
<b>Acondicionamiento</b>	✓ Químico	<b>Incineración</b>	✓ Incineración de horno múltiple
	✓ Calor		✓ Secado instantáneo
	✓ Congelamiento		✓ Incineración de lecho fluido
<b>Desecación</b>	✓ Filtros prensa		
	✓ Filtros al vacío		
	✓ Centrifugación		

*Nota:* Romero (2005).

Tabla 5. Función principal de los procesos de tratamiento de lodos

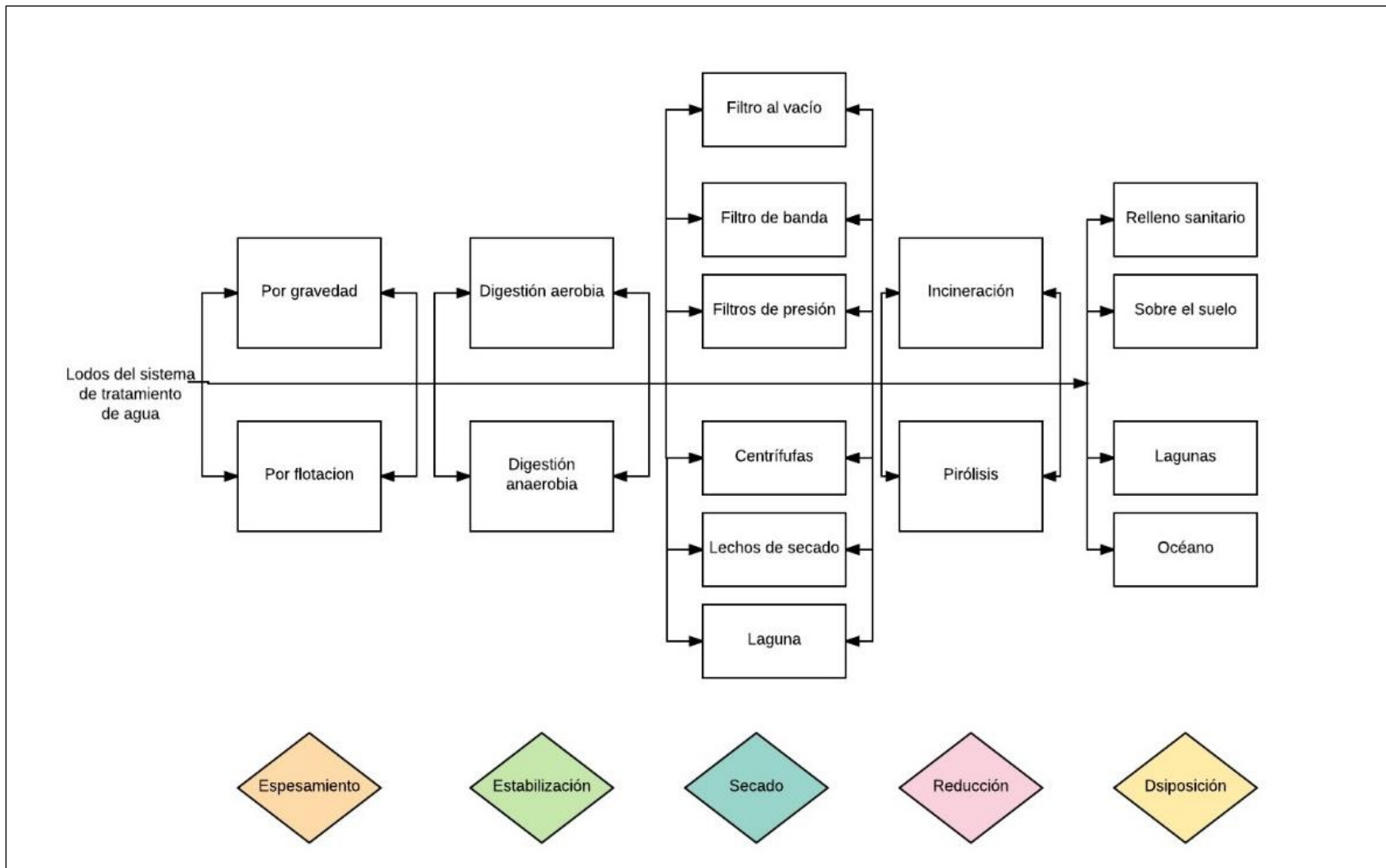
Proceso de tratamiento	Función
<b>Separación de sólidos</b> ✓ Sedimentación ✓ Flotación ✓ Cribado ✓ Filtración	Separación del material sólido.
<b>Espesamiento</b> ✓ Gravedad ✓ Flotación ✓ Centrifugación ✓ Filtros al vacío ✓ Rejillas	Espesamiento de los sólidos separados para aumentar su concentración y reducir el volumen total.
<b>Estabilización</b> ✓ Digestión aerobia ✓ Digestión anaerobia ✓ Tratamiento con calor ✓ Tratamiento químico	Mediante oxidación reducir el volumen de lodo y hacerlo inocuo, es decir, tratamiento de la materia orgánica y de los organismos patógenos.
<b>Remoción de agua y secado*</b> ✓ Lechos de secado ✓ Centrifugas ✓ Filtros al vacío ✓ Filtros de presión ✓ Rejillas vibratorias	Mediante remoción de una porción importante de agua reducir el volumen de los lodos.

Nota: \*Acondicionamiento mediante químicos o sin ellos. Romero (2005).

La disposición de los lodos se está volviendo más importante cada año debido a la cantidad de lodos generados por los procesos de tratamiento mejorados. Se conocen casos que en pequeñas poblaciones se permite que los residentes locales tomen el lodo como fertilizante y en algunas ciudades se procesa el lodo para ser comercializado como fertilizante. En un número creciente de casos, se compran terrenos para la disposición en gran escala de los lodos con el crecimiento de cosechas como una consecuencia de dicha aplicación; los efectos a largo plazo sobre el suelo deben estudiarse para cada caso en particular. En muchas ciudades se usan incineradores para deshacerse de los lodos generados por las aguas residuales, desaprovechando este subproducto en grandes cantidades [3].

Existen dos soluciones generales básicas, o se tiende a una recuperación por medio de los tratamientos enunciados previamente, o se realiza una estricta eliminación sin recuperación. De esta consideración surgen las primeras alternativas en el proceso de lodos [3].

En el Art. 126 de la Resolución 330/17 se establece que una vez los lodos residuales hayan sido estabilizados deberán ser dispuestos en concordancia con las indicaciones dispuestas por la autoridad ambiental local, previa solicitud y aprobación oficial de dicha entidad.



*Ilustración 1. Posibles soluciones a adoptar y alternativas de tratamiento.  
Fuente: Tomado de Romero (2005).*

### 6.3 Biosólidos<sup>2</sup>

El Decreto 1287/14 los define como el producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso [2].



*Ilustración 2. Esquema para la generación de biosólidos.  
Fuente: Autores*

Los lodos pueden contener componentes muy valiosos como materia orgánica y Fito-nutrientes (macro y micro), y componentes problemáticos como metales pesados, contaminantes orgánicos y patógenos. Esta composición no sorprende dado su origen, pero es evidente que con un mejor control de las aguas vertidas y de los métodos de depuración se puede potenciar el valor de los componentes útiles y disminuir la peligrosidad de los otros. Igualmente, los biosólidos son un producto originado después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de aguas residuales. Gracias a este proceso, el biosólido tiene capacidad para utilización agrícola y forestal, y para la recuperación de los suelos degradados, entre otros [2].

La EPA también definió los biosólidos en su código 40 CFR 503 como: sólidos provenientes del tratamiento de las aguas residuales y estabilizados biológicamente con suficiente concentración de nutrientes, bajo contenido de microorganismos patógenos, presencia permisible de metales

---

<sup>2</sup> No son biosólidos las escorias y cenizas producto de la oxidación o reducción térmica de lodos, así como los residuos que se retiran de los equipos e instalaciones de la fase preliminar del tratamiento de aguas residuales, ni los provenientes de dragados o de limpieza de sumideros [2].

pesados, que se puede utilizar como fertilizante, acondicionador o mejorador de suelos, de acuerdo con la composición fisicoquímica del biosólido y la vocación de uso del suelo. La disposición de los biosólidos demanda un manejo muy cuidadoso por los riesgos ambientales que pueden representar ante la posibilidad de contener sustancias contaminantes provenientes de las aguas tratadas y además de las altas cantidades alcanzadas diariamente [4].

### **6.3.1 Contaminantes en los biosólidos**

La calidad de los biosólidos depende fundamentalmente de cuatro grupos de contaminantes principales que pueden presentarse [4]:

- ✓ Agentes Patógenos.
- ✓ Metales Pesados.
- ✓ Nutrientes y Materia Orgánica
- ✓ Contaminantes Orgánicos.

### **6.3.2 Clasificación de biosólidos**

Según la EPA (1994), quien es la máxima autoridad ambiental de Estados Unidos y es el ente que más ha trabajado sobre el tema de los biosólidos en América Latina, los biosólidos se clasifican en dos (2) categorías A y B.

El decreto 1287/14 utiliza la misma clasificación desarrollada por la EPA y define en el artículo 5 los “valores máximos permisibles para la categorización de los biosólidos” según los parámetros relacionados en la tabla 8 para determinar el potencial de aprovechamiento de los biosólidos por medio de la categorización tipo A o B.

Tabla 6. Parámetros a determinar para categorizar los biosólidos

Criterio	Variable	Unidad de medida	Categoría	
			A	B
<b>Químicos (Metales)</b>	Aluminio <sup>3</sup>		-	-
	Arsénico (As)		20,0	40,0
	Cadmio (Cd)		8,0	40,0
	Cobre (Cu)		1.000,0	1.750,0
	Cromo (Cr)		1.000,0	1.500,0
	Mercurio (Hg)	Mg / Kg de biosólido (base seca)	10,0	20,0
	Molibdeno (Mb)		18,0	75,0
	Níquel (Ni)		80,0	420,0
	Plomo (Pb)		300,0	400,0
	Selenio (Se)		36,0	100,0
	Zinc (Zn)		2.000,0	2.800,0
<b>Microbiológicos</b>	Coliformes Fecales	Unidades Formadoras de Colonias – UFC / 1g de biosólido (base seca)	<1,00 E (+3)	<2,00 E (+6)
	Huevos de Helminthos Viables	Huevos de Helminthos viables / 4g de biosólido (base seca)	<1,0	<10,0
	Salmonela sp.	Unidades formadoras de Colonias – UFC / en 25g de biosólido (base seca)	Ausencia	<1,00 E (+3)
	Virus Entéricos	Unidades Formadoras de Placas – UFP / 4g de biosólido (base seca)	<1,0	-

Nota: La tabla presenta los Valores máximos permisibles por parámetro. Tabla tomada del Decreto 1287 de 2014.

### 6.3.2.1 Biosólido Clase A

Se cataloga en este nivel si luego de someter a tratamiento se presentan estas condiciones:

<sup>3</sup> Dado el uso de floculante “Poli cloruro de aluminio” y con base en el artículo 123 de la Resolución 0330/17 donde se enuncia que “...se requiere medir el residual de los insumos químicos utilizados en los procesos unitarios de tratamiento de agua...” se incluyó en los parámetros químicos (metales) el análisis de Aluminio.

- ✓ Una densidad de coliformes fecales inferior a 1000 Número Más Probable (NMP) por gramo de sólidos totales o la densidad de Salmonella sp. es inferior a 3 NMP por 4 gramos de sólidos totales.
- ✓ La densidad de virus entéricos menor o igual a 1 Unidades Formadoras de colonia (UFC) por 4 gramos de sólidos totales y los huevos viables de helmintos inferiores a 1 por 4 gramos de sólidos totales.

Y si además se somete a tratamiento para reducir vectores no tendrá restricciones en su aplicación agrícola y sólo será necesario solicitar permisos para garantizar que estos rangos hayan sido cumplidos.

#### **6.3.2.2 Biosólido Clase B**

Se cataloga en este nivel si luego de someter a tratamiento se presentan estas condiciones: Una densidad de coliformes fecales inferior a  $2 \times 10^6$  NMP por gramo de sólidos totales o  $2 \times 10^6$  UFC por gramo de sólidos totales. Este tipo de biosólidos deberá recibir tratamiento para reducir estos niveles y tiene mayores restricciones para uso agrícola.

#### **6.3.3 Alternativas de uso de los biosólidos según el Decreto 1287/14**

El Decreto 1287/14 también define en el artículo 8 las alternativas de uso o aprovechamiento de los biosólidos por categoría:

## **Categoría A<sup>4</sup>**

- a. Como material de cobertura, relleno o adecuación de zonas verdes (cementerios, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos).
- b. Como producto térreo para uso en áreas privadas (jardines, antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización).
- c. Como abono en procesos de agricultura.

## **Categoría B**

- d. Como abono en procesos de agricultura; aplicado al suelo con algunas restricciones.
- e. Como abono en plantaciones forestales.
- f. Como acondicionador de suelos en la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados.
- g. Como insumo en la elaboración de fertilizantes orgánicos (abonos) o productos acondicionadores para suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos que modifiquen su calidad original.<sup>5</sup>
- h. Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos o soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, absorción y adsorción.
- i. Como insumo en la fabricación de materiales de construcción.
- j. Como material para la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial secundaria o terciaria.

---

<sup>4</sup> También incluye los mismos usos de la categoría B.

<sup>5</sup> Los procesos de elaboración y características de los productos finales y su uso, queda sujeto a la regulación establecida por el ICA.

- k. Como material de cobertura en la operación de rellenos sanitarios (cobertura diaria o final (cierre), clausura de plataformas y en actividades de revegetalización y paisajismo.
- l. Como material para revegetalización y paisajismo de escombreras.
- m. En procesos de valorización energética (aprovechamiento del potencial calorífico).

#### **6.4 Condiciones del agua captada y tratada en la PTAP**

A continuación, se presenta el comparativo entre las caracterizaciones del agua cruda y el agua potabilizada y almacenada en la PTAP de El Espinal durante el mes de mayo y agosto del 2017:

Tabla 7. Registro de la calidad fisicoquímica del agua cruda que ingresó a la PTAP en Mayo del 2017

Fecha	Hora	Parámetros básicos rutinarios							Parámetros que dependen de la población atendida												
		Temperatura (°C)	Turbiedad (U.N.T)	Color Aparente (U.P.C)	Color Real (U.P.C)	pH (unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio (mg/l)	Dureza Total (mg/l)	Hierro Total (mg/l)	Cloruros (mg/l)	Sulfatos (mg/l)	Manganeso (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Conductividad (µs/cm)	Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Salinidad (ppm)	COT (mg/l)	Fluoruros (mg/l)
02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04	9:30	22,5	262	1106	24,0	7,4	87,0	-	86,2	2,3	8,6	24,0	0,3	+	-	224,0	141,3	0,7	106,4	-	-
05	9:30	24,3	299	1165	31,0	7,5	92,8	-	86,0	2,1	13,8	19,0	0,4	0,0	-	227,0	142,6	0,7	107,6	-	-
08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09	14:30	23,8	4780	16071	39,0	7,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	155,4	98,0	-	73,4	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	15:00	23,0	570	2870	24,0	7,1	81,4	0,9	77,2	2,2	19,0	35,0	1,0	0,0	+	176,8	110,9	0,5	82,6	-	-
15	13:40	22,8	12500	52000	23,0	7,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	184,3	115,4	-	86,0	-	-
16	16:45	22,7	147	550	23,0	7,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	163,4	102,4	-	77,1	-	-
17	9:00	22,5	1660	3129	1098,0	7,2	72,2	0,5	84,6	0,0	22,0	16,0	0,9	0,0	13,3	193,8	121,6	0,8	92,0	-	-
18	8:30	23,8	1095	6765	594,0	7,1	65,4	0,9	71,8	2,7	22,5	10,0	2,1	0,0	+	154,3	97,3	0,9	72,9	-	-
19	8:40	23,6	704	1265	122,0	7,0	73,4	0,7	80,4	2,6	23,0	15,0	0,8	0,0	+	201,0	129,5	1,1	96,3	-	-
22	12:30	23,6	221	1500	220,0	7,2	64,2	0,3	65,0	1,8	23,0	24,0	0,4	0,0	+	168,5	105,6	1,2	79,8	-	-
23	9:30	22,8	234	1875	31,0	7,1	73,0	0,3	74,0	3,2	23,5	10,0	0,6	0,0	+	184,6	119,6	0,6	88,1	-	-
24	9:30	23,6	234	802	13,0	7,1	79,0	0,2	84,6	1,4	24,2	18,0	0,3	0,1	+	227,0	142,0	0,5	103,5	-	-
25	11:30	24,2	188	719	10,0	7,0	81,2	0,1	89,6	1,1	31,4	24,0	0,2	0,0	+	232,0	143,6	0,5	110,4	-	-
26	8:45	23,8	114	616	13,0	7,4	85,4	0,1	90,4	0,7	16,2	22,0	0,2	0,0	+	247,0	155,6	0,5	116,6	2,5	+
30	8:35	24,8	96	352	10,0	7,4	92,6	0,1	98,6	0,8	29,9	25,0	0,1	0,0	+	262,0	158,4	0,3	124,9	-	-
31	8:53	22,9	59	366	11,0	7,5	93,6	0,1	102,2	0,5	11,3	31,0	0,1	0,0	+	248,0	167,7	0,5	123,7	-	-
#		16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	13,0	11,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	12,0	1,0	16,0	16,0	13,0	16,0	1,0	0,0
<b>Promedio</b>		23,4	1447,8	5696,9	142,9	7,2	80,1	0,4	83,9	1,6	20,6	21,0	0,6	0,0	13,3	203,1	128,2	0,7	96,3	2,5	#DIV/0!

Nota: El día 2 de mayo, no se realizaron análisis por ejecución de pruebas PICCAP.

El día 3 de mayo, no se realizaron análisis por suspensión de tratamiento y servicio por alta turbiedad y color del agua cruda.

Los días 4 y 5 de mayo, no se realizaron análisis de aluminio y nitrato por escasos de reactivos.

El día 8 de mayo, no se realizaron análisis debido a suspensión de tratamiento por falta de agua cruda desde Bocatoma.

Los días 10 y 11 de mayo, no se realizaron análisis por suspensión de tratamiento y servicio por alta turbiedad y color del agua cruda.

Los días 9, 15 y 16 de mayo no se realizaron análisis químicos debido a la alta turbiedad y color del agua cruda.

(+) Parámetros no registrados debido a que el resultado arrojado por el espectrofotómetro fue “no detectado”.

Los parámetros de Carbono Orgánico Total - COT y Fluoruro solo se miden una vez al mes.

Análisis de agua realizado por los laboratorios de control de la calidad de la E.A.A.A. E.S.P. de El Espinal - Tolima (2017).

Tabla 8. Registro de la calidad fisicoquímica del agua cruda que ingresó a la PTAP en Agosto del 2017

Fecha	Hora	Parámetros básicos rutinarios										Parámetros que dependen de la población atendida									
		Temperatura (°C)	Turbiedad (U.N.T)	Color Aparente (U.P.C)	Color Real (U.P.C)	pH (unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio (mg/l)	Dureza Total (mg/l)	Hierro Total (mg/l)	Cloruros (mg/l)	Sulfatos (mg/l)	Manganeso (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Conductividad (µs/cm)	Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Salinidad (ppm)	COT (mg/l)	Fluoruros (mg/l)
01	9:20	22,1	27	216	17	7,2	84,2	0,07	90,6	0,6	12,7	29	0,134	0,010	0,70	230,0	143,8	0,43	109,50	-	-
02	9:40	22,3	133	73	21	7,2	93,4	0,06	103,6	0,3	13,1	28	0,093	0,007	0,70	255,0	160,1	0,35	119,5	-	-
03	12:55	24,7	15	103	5	7,3	100,2	0,07	100,8	0,4	11,5	31	0,084	0,008	2,00	272,0	170,6	0,28	130,0	-	-
08	14:15	28,0	17	106	4	7,5	110,8	0,05	112,6	0,4	9,6	23	0,050	0,002	2,00	299,0	188,7	0,28	142,6	-	-
09	14:00	26,2	13	51	8	7,0	105,6	0,04	112,0	0,2	10,6	24	0,058	0,007	0,80	263,8	193,2	0,23	130,0	-	-
10	10:43	25,2	12	73	4	7,2	105,0	0,06	109,6	0,3	5,9	24	0,041	0,007	1,2	287,0	173,2	0,30	136,1	-	-
11	11:30	26,1	14	73	17	7,6	114,8	0,04	109,2	0,4	12,4	23	0,056	0,004	0,90	309,0	195,0	0,24	147,5	-	-
14	10:34	27,6	32	289	16	7,0	102,6	0,09	105,8	1,2	11,4	25	0,137	0,007	0,8	283,0	180,5	0,48	135,6	-	-
15	10:40	26,2	24	111	32	7,0	106,8	0,02	113,2	0,5	7,7	25	0,060	0,006	0,9	288,0	183,0	0,56	138,0	-	-
16	10:43	26,4	10	60	3	7,1	110,2	0,07	117,2	0,4	12,1	26	0,048	0,004	1,1	282,0	181,6	0,25	135,6	-	-
17	10:45	27,2	12	85	3	7,3	113,6	0,07	118,2	0,4	9,6	25	0,051	0,002	1,2	296,0	185,9	0,27	141,7	-	-
18	12:10	25,3	1236	4657	5	7,4	89,40	0,62	117,6	8,4	19,9	26	1,17	0,089	3,7	243,0	153,2	2,41	153,2	-	-
22	10:38	24,4	120	554	18	6,9	80,8	0,08	116,3	1,8	13,9	22	0,22	0,027	0,6	227,0	140,2	0,37	140,2	-	-
23	10:19	24,4	40	227	11	7,1	98,8	0,05	109,2	0,5	10,0	25	0,11	0,004	0,3	265,0	166,5	0,36	166,5	-	-
24	11:43	25,4	29	124	6	7,2	100,4	0,05	106,6	0,5	10,9	26	0,08	0,003	0,9	281,0	176,9	0,32	176,9	-	-
25	12:30	23,1	27	185	10	7,6	100,2	0,08	101,8	0,6	11,0	22	0,09	0,005	0,3	278,0	174,9	0,24	174,9	2,40	0,25
28	12:20	25,6	1740	12800	17	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	174,6	110,2	-	110,2	-	-
29	10:30	24,9	169	1600	18	6,9	84,6	0,29	103,8	1,8	16,9	21	0,27	0,001	+	216,0	134,9	0,62	102,8	-	-
30	13:00	24,1	132	795	15	7,0	99,8	0,13	121,8	1,5	14,7	22	0,27	0,002	+	223,7	149,30	0,40	142,3	-	-
31	10:30	24,7	56,3	280	12	7,2	96,0	0,12	109,4	0,8	11,8	20	0,12	0,005	+	260,0	163,70	0,42	123,4	-	-
#		20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	16	20	20	19	20	1	1
Promedio		25,2	192,9	1123	12	7,2	99,9	0,11	109,4	1,1	11,9	25	0,165	0,011	1,1	261,7	166,3	0,46	137,8	2,4	0,25

Nota: (+) Parámetros no registrados debido a que el resultado arrojado por el espectrofotómetro fue “no detectado”.

Los parámetros de Carbono Orgánico Total - COT y Fluoruro solo se miden una vez al mes.

Análisis de agua realizado por los laboratorios de control de la calidad de la E.A.A.A. E.S.P. de El Espinal - Tolima (2017).

Tabla 9. Registro de la calidad fisicoquímica del agua tratada y almacenada en la PTAP en Mayo del 2017

Fecha	Hora	Parámetros básicos rutinarios						Parámetros que dependen de la población atendida														IRCA	
		Temperatura (°C)	Turbiedad (U.N.T)	Color (U.P.C)	pH (unidades)	Cloro Residual Tanque de El Espinal (mg/l)	Cloro Residual Tanque de Chicoral (mg/l)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio (mg/l)	Dureza Total (mg/l)	Hierro Total (mg/l)	Cloruros (mg/l)	Sulfatos (mg/l)	Manganeso (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Conductividad (µs/cm)	Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	Salinidad (ppm)	Fosfatos (mg/l)	COT (mg/l)		Fluoruros (mg/l)
Lím. Max		-	2	<15	6,5-9,0	2	2	200	0,2	300	0,03	250	250	0,1	0,1	10	1000	500	-	0,5	5	1	*
02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04	9:30	22,9	0,21	3	7,11	1,80	1,45	87,6	-	82,2	0,04	8,6	17	0,02	0,0	-	235,0	147,5	111,4	0,10	-	-	11,5%
05	9:30	24,5	0,62	2	7,13	1,73	1,52	82,8	-	86,2	0,04	10,3	18	0,02	0,0	-	242,0	152,2	114,7	0,23	-	-	11,5%
08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09	14:30	23,8	0,46	2	7,07	1,71	1,58	76,0	0,05	68,2	0,02	6,1	10	0,02	0,0	1,7	184,1	115,9	87,3	0,08	-	-	7,7%
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	13:00	22,6	0,51	0	7,00	1,85	1,37	62,2	0,05	72,2	0,02	11,8	43	0,02	0,0	1,5	190,8	118,1	90,7	0,33	-	-	7,7%
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	9:00	22,5	0,29	3	6,99	1,39	1,02	57,8	0,04	76,6	0,01	13,9	17	0,03	0,0	1,6	196,2	123,0	91,7	0,17	-	-	7,7%
18	8:30	24,4	0,33	0	6,97	1,77	1,72	67,8	0,08	80,6	0,03	10,7	22	0,03	0,0	1,6	216,0	135,6	100,7	0,15	-	-	7,7%
19	8:40	23,3	0,24	0	7,13	2,03	1,75	69,0	0,03	85,2	0,02	13,3	42	0,01	0,0	1,4	211,0	129,7	101,9	0,40	-	-	7,7%
22	12:30	23,7	0,40	0	7,07	1,87	0,95	66,4	0,05	80,0	0,06	9,9	24	0,02	0,0	1,5	202,0	126,0	99,8	0,18	-	-	7,7%
23	9:30	22,6	0,48	8	6,92	1,62	1,66	58,0	0,05	70,6	0,02	9,8	17	0,02	0,0	1,1	190,0	118,6	91,2	0,43	-	-	7,7%
24	9:30	24,1	0,47	6	6,92	1,77	1,62	77,0	0,05	84,0	0,02	16,1	16	0,02	0,0	1,6	226,0	141,5	105,5	0,26	-	-	7,7%
25	11:30	24,3	0,38	5	7,06	1,71	1,10	80,2	0,05	88,8	0,03	12,2	31	0,02	0,0	1,9	243,0	152,2	115,1	0,40	-	-	7,7%
26	8:45	23,9	0,25	0	7,22	1,86	1,49	83,8	0,03	90,6	0,02	10,6	25	0,03	0,0	1,7	250,0	157,6	108,7	0,40	4,0	0,08	0,0%
30	8:35	24,3	0,62	0	7,31	1,58	1,54	86,8	0,05	96,4	0,05	12,0	24	0,02	0,0	1,6	253,0	165,5	123,1	0,37	-	-	7,7%
31	8:53	23,1	0,30	0	7,23	1,68	1,53	88,6	0,06	91,2	0,03	8,3	23	0,04	0,0	1,6	242,0	165,2	124,0	0,21	-	-	7,7%
#		14	14	14	14	14	14	14	12	14	14	14	14	14	14	12	14	14	14	14	1	1	14
Promedio		23,6	0,40	2	7,08	1,74	1,45	74,6	0,05	82,3	0,03	11,0	24	0,02	0,0	1,6	220,1	139,2	104,7	0,27	4,0	0,08	7,7%

Nota: El día 2 de mayo, no se realizaron análisis por ejecución de pruebas PICCAP.

El día 3 de mayo, no se realizaron análisis por suspensión de tratamiento y servicio por alta turbiedad y color del agua cruda.

Los días 4 y 5 de mayo, no se realizaron análisis de aluminio y nitrato por escases de reactivos.

El día 8 de mayo, no se realizaron análisis debido a suspensión de tratamiento por falta de agua cruda desde Bocatoma.

Los días 10, 11 y 15 de mayo, no se realizaron análisis por suspensión de tratamiento y servicio por alta turbiedad y color del agua cruda.

Los parámetros de Carbono Orgánico Total - COT y Fluoruro solo se miden una vez al mes.

\*Los valores límites máximos permisibles son tomados de la resolución 2115 del 2007. IRCA mensual: Bajo.

Análisis de agua realizado por los laboratorios de control de la calidad de la E.A.A.A. E.S.P. de El Espinal - Tolima (2017).

Tabla 10. Registro de la calidad fisicoquímica del agua tratada y almacenada en la PTAP en Agosto del 2017

Fecha	Hora	Parámetros básicos rutinarios					Parámetros que dependen de la población atendida																IRCA
		Temperatura (°C)	Turbiedad (U.N.T)	Color (U.P.C)	pH (unidades)	Cloro Residual Tanque de El Espinal (mg/l)	Cloro Residual Tanque de Chicoral (mg/l)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio (mg/l)	Dureza Total (mg/l)	Hierro Total (mg/l)	Cloruros (mg/l)	Sulfatos (mg/l)	Manganeso (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Conductividad (µs/cm)	Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	Salinidad (ppm)	Fosfatos (mg/l)	COT (mg/l)	Fluoruros (mg/l)	
<b>Lím. Max</b>		-	2	<15	6,5-9,0	2	2	200	0,2	300	0,03	250	250	0,1	0,1	10	1000	500	-	0,5	5	1	*
01	9:20	22,9	0,59	0	7,0	1,63	1,32	79,0	0,08	87,0	0,02	14,4	29	0,06	0,01	1,4	230,0	148,5	111,1	0,25	-	-	
02	9:40	23,1	0,27	2	7,0	1,51	1,27	87,4	0,09	91,8	0,01	12,9	34	0,06	0,01	1,2	258,0	159,5	122,9	0,27	-	-	0%
03	12:55	24,9	0,34	0	7,0	1,42	1,26	94,4	0,09	102,8	0,03	15,1	33	0,08	0,00	1,0	271,0	174,2	130,7	0,36	-	-	0%
08	14:15	27,9	0,44	2	7,2	1,35	1,72	107,2	0,07	106,6	0,02	12,0	22	0,01	0,00	1,2	303,0	190,6	144,1	0,19	-	-	0%
09	13:50	26,3	0,47	3	7,0	1,38	1,57	110,2	0,09	114,6	0,17	14,9	30	0,02	0,00	1,3	301,0	180,7	143,2	0,22	-	-	0%
10	10:40	25,2	0,15	4	7,0	1,60	1,56	106,6	0,09	114,2	0,20	12,0	27	0,01	0,00	1,9	293,0	175,5	136,1	0,17	-	-	0%
11	11:30	26,1	0,15	0	7,3	1,75	1,90	110,0	0,10	104,2	0,02	15,0	25	0,02	0,00	1,5	309,0	194,2	147,2	0,19	-	-	0%
14	10:54	27,7	0,92	0	6,9	1,54	0,84	92,6	0,07	100,2	0,02	12,1	25	0,02	0,00	3,7	284,0	177,9	133,2	0,37	-	-	0%
15	10:27	26,2	0,21	0	6,7	1,69	1,89	105,0	0,07	113,2	0,02	15,4	23	0,01	0,00	1,8	285,0	178,7	133,7	0,29	-	-	0%
16	10:40	26,4	0,33	0	6,9	1,28	1,05	108,8	0,06	113,8	0,02	14,8	26	0,01	0,00	1,8	311,0	196,0	143,2	0,39	-	-	0%
17	10:37	27,4	0,20	0	7,0	1,73	1,54	107,6	0,09	11,4	0,01	16,8	26	0,02	0,00	1,6	296,0	188,7	142,0	0,26	-	-	0%
18	12:15	25,2	0,51	1	7,2	1,67	1,17	109,8	0,09	114,0	0,01	15,5	25	0,02	0,00	1,5	317,0	199,4	151,2	0,24	-	-	0%
22	10:47	25,1	0,93	3	6,8	1,14	1,38	69,6	0,09	97,2	0,03	10,4	20	0,01	0,00	1,6	211,0	132,9	99,8	0,09	-	-	0%
23	10:25	24,6	0,40	2	6,9	1,73	1,55	88,8	0,06	113,8	0,03	11,9	23	0,02	0,00	2,3	246,0	154,6	117,1	0,17	-	-	0%
24	11:50	25,6	0,40	1	7,0	1,76	1,25	102,4	0,03	106,4	0,02	14,7	24	0,02	0,00	1,7	279,0	175,8	132,2	0,28	-	-	0%
25	12:30	-	0,30	0	7,3	1,74	1,91	104,2	0,08	110,8	0,01	11,5	24	0,02	0,00	1,9	295,0	186,1	140,6	0,15	0,90	0,11	0%
28	12:25	25,5	0,68	3	6,7	1,24	1,47	79,3	0,06	101,6	0,02	17,5	22	0,02	0,00	2,1	205,0	127,2	97,2	0,13	-	-	0%
29	10:26	25,0	0,30	0	6,7	1,83	1,70	88,6	0,08	98,6	0,01	18,8	20	0,03	0,00	1,5	224,0	142,0	106,7	0,05	-	-	0%
30	13:05	25,2	0,27	0	6,9	1,85	1,62	94,6	0,05	110,2	0,02	7,0	20	0,00	0,00	1,6	231,0	144,9	108,6	0,14	-	-	0%
31	10:35	24,9	0,15	0	7,0	1,23	1,52	102,2	0,06	116,8	0,00	10,7	19	0,01	0,00	0,6	247,0	154,2	118,0	0,07	-	-	0%
#		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	1	1	20
<b>Promedio</b>		25,4	0,40	1,05	7,0	1,55	1,47	97,4	0,07	101,5	0,03	13,7	25	0,02	0,00	1,7	269,8	169,1	127,9	0,21	0,9	0,11	0%

Nota: Los parámetros de Carbono Orgánico Total - COT y Fluoruro solo se miden una vez al mes.

\*Los valores límites máximos permisibles son tomados de la resolución 2115 del 2007. IRCA mensual: Bajo.

Análisis de agua realizado por los laboratorios de control de la calidad de la E.A.A.A. E.S.P. de El Espinal - Tolima (2017).

## **7 Descripción del área de estudio**

### **7.1 Recurso hídrico**

El Municipio del Espinal está limitado el occidente por el Río Coello y al Oriente por el Río Magdalena. Nacen de este municipio 7 microcuencas o “quebradas” (Talura, Montalvo, Guadualejo, Santa Ana, La Morena, Guayabal y Coyarcó), todas presentan problemáticas ambientales como:

- ✓ Vegetación fuertemente talada con pocas áreas de protección recubiertas (los agricultores buscan aumentar el área de siembra y disminuir los obstáculos para el fácil recubrimiento de las avionetas para las aplicaciones de plaguicidas).
- ✓ Caudales ecológicos mínimos.
- ✓ Aguas contaminadas con los diversos plaguicidas, abonos y fertilizantes que se usan en la actividad agrícola de la región.

#### **7.1.1 Río Coello**

El río Coello limita el borde noroccidental y la tendencia su pendiente se encuentra inclinada hacia el oriente, recibe las aguas de los ríos Bermellón, Cocora, Andes, Gallego y Combeima antes de desembocar en el río Magdalena. El río Coello proporciona parte de su caudal para la generación eléctrica en la planta La Ventana y para el abastecimiento del acueducto que surte de agua a las poblaciones urbanas de El Espinal y Chicoral. Sirve también para alimentar el sistema de riego que irriga 16.000 Ha.

El agua del río Coello presenta un alto grado de contaminación bacteriológica y química, ya que recoge las aguas negras de Ibagué y otras poblaciones como Anaime, Cajamarca, Payandé, Coello (Corregimiento e inspección de policía) etc., así como los drenajes de áreas rurales de Ibagué, Coello, Cajamarca y San Luis que vierten al río Coello y sus afluentes una diversidad de agroquímicos. Debido a las anteriores consideraciones y circunstancias el agua del distrito de río de Usocoello, se puede considerar como apta únicamente para usos agrícolas y necesitaría tratamiento para otros tipos de uso. La exigencia del Municipio de El Espinal es que se traten previa y eficientemente los vertimientos de Cajamarca e Ibagué.

### 7.1.2 Distrito de Usocoello

La apertura del Distrito de Usocoello generó impactos positivos ya que eliminó los altos riesgos del cultivo seco y creó un fuerte desarrollo económico y social para El Espinal y la Región.

*Tabla 11. Comparativo Distritos de riego en operación<sup>6</sup>*

<b>Distrito</b>	<b>Esc</b>	<b>Municipio</b>	<b>Fuente Hídrica</b>	<b>Área Benef. (Ha)</b>	<b>Flias Benef.</b>
Combeima	G	Ibagué	R. Combeima	27000	500
Guamo P3	M	Guamo	R. Cucuana	1526	152
Río Recio	G	Lérida – Ambalema	R. Recio	9394	373
Coello	G	Espinal – Guamo - Flandes	R. Coello - Cucuana	26870	1447
Saldaña	G	Saldaña – Coyaima – Purificación	R. Saldaña	16652	1322
Río prado	M	Prado – Purificación	R. prado	2369	246

Nota: Tomado del Instituto Nacional de Adecuación de Tierras INAT Regional Tolima (2017).

<sup>6</sup> Todos los canales de riego, principales, secundarios y terciarios carecen de vegetación con el fin de facilitar la operación de la pala – draga para su mantenimiento.

Sin embargo, los sistemas productivos agrícolas y pecuarios agregan fuertes cantidades de agroquímicos y parte de la población campesina del Espinal adiciona aguas negras a los canales y a las aguas freáticas, potencializando la carga de coliformes, sustancias químicas y carbonatos con que vienen cargadas los ríos Combeima y Coello al pasar por Ibagué, Payandé, Gualanday y Cajamarca.

### **7.1.3 Quebrada El Espinal**

La Quebrada El Espinal recibe adicionalmente los vertimientos de todas las aguas negras del Municipio de El Espinal. Es por ello que el mapa de amenazas y riesgos la tipifica en la mayor parte de su recorrido con contaminación hídrica. Disminuir la carga de aguas negras vertidas en su recorrido por el casco urbano es una de las alternativas para minimizar los riesgos sobre la salud, ya que se convierte en fuente generadora de miasmas de descomposición, criadero de moscos, mosquitos y zancudos, emanaciones de olores que hacen poco agradable la vida a su alrededor y dificulta una presencia agradable para propios y extraños.

## **7.2 Matriz ambiental – DOFA**

En el diagnóstico ambiental del municipio de El Espinal se aplicó una matriz DOFA para identificar Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas, las cuales se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 12. Matriz ambiental

<b>Oportunidades</b>		<b>Fortalezas</b>	
1. No existen ONG´S ambientales representativas inscritas ante la autoridad ambiental.		1. Existencia del Centro de investigación Nataima para el sector agropecuario.	
2. Existencia de algunas organizaciones de iniciativa ciudadana de carácter ambiental pero en la práctica no funcionan como tales.		2. Existencia de los Comités de emergencia (municipio y departamento).	
3. Características actuales de los recursos naturales que permiten hacia el futuro su recuperación y/o mejoramiento (agua, suelo, aire, flora, fauna).		3. El modelo económico del Municipio permitirá determinar las metas en sostenibilidad ambiental.	
4. Los impactos ambientales negativos sobre los recursos naturales son controlables con los proyectos, programas, medidas y normatividad.		4. La preocupante situación ambiental augura éxitos organizativos comunitarios.	
5. Posibilidades en la formulación de proyectos de cooperación técnica y económica internacional.			
6. La red institucional.			
7. La red Sísmica del Tolima.			
8. Ley 99 y decretos reglamentarios.			
9. Ley 388 y decretos reglamentarios.			
10. La mundialización.			
11. El PBOT – Espinal.			
<b>Debilidades</b>		<b>Amenazas</b>	
1. Falta de mecanismos y de instituciones que incentiven la investigación ambiental.		1. Falta de voluntad e interferencia “politiquera” en las decisiones ambientales.	
2. Falta de operatividad en el Comité Local de Emergencias.		2. Débil o nula inclusión de la dimensión ambiental en los planes y proyectos regionales y nacionales.	
3. Deficientes recursos humanos, técnicos y financieros para desarrollar planes, programas y proyectos ambientales hacia la sustentabilidad.		3. Incumplimiento de los usos del suelo reglamentados en el Estatuto Urbano e inexistencias en el área rural.	
4. Inexistencia de proyectos ambientales en diseño o en ejecución por el Estado ONG´S y particulares.			
5. Falta de espacios que faciliten y cohesión en el trabajo Interinstitucional.			

- 
6. Falta de control sobre la urbanización en terrenos inadecuados y áreas de cesión deficientes que aumentan cada vez la caótica deficiencia de espacio público.
  7. Falta de difusión de la normatividad ambiental y de los mecanismos para la participación ciudadana en la gestión ambiental.
  8. Falta de conocimientos sobre algunos aspectos de los impactos ambientales, recursos naturales y zonas suburbanas.
  9. Inexistencia de investigaciones ambientales.
  10. Falta de criterios técnicos claros y de instituciones que orienten el aprovechamiento de los recursos naturales y ejecución de proyectos.
  11. Débil seguimiento y control de las autoridades sanitarias y medioambientales.
  12. Inexistencia de compromiso por Entidades y comunidad hacia el mejoramiento ambiental y de la calidad de vida.
  13. Falta de una política para la Escogencia, administración y usos potenciales de zonas deportivas, recreativas, espacio público, turismo agroecológico etc.
  14. Falta de definición de estrategias ambientales claras para el turismo en la Nación, Departamento y Municipio.
  15. Falta de definición de un mejor manejo de residuos sólidos en la ciudad y zona rural, por sus costos para Municipio e inexistencia de un proyecto regional.
  16. Falta de definición y/o aplicación de mecanismos económicos para la protección y conservación de ecosistemas y recursos naturales.
  17. Falta de una unidad dedicada exclusivamente a la problemática del Medio Ambiente en el Municipio.
  18. Información no disponible sobre oferta y demanda ambiental.
  19. Desconocimiento y laxitud en la aplicabilidad de las normas ambientales por Entidades y particulares.
  20. Débil organización comunitaria con fines de la recuperación medioambiental.
  21. Inexistencia de sistemas de información ambiental.
- 

*Nota:* POT de El Espinal (2017).

### 7.3 PTAP de El Espinal - Tolima

La planta de potabilización de agua se encuentra localizada en el casco urbano del corregimiento de Chicoral en el municipio del Espinal - Tolima. Es una planta de tipo convencional ubicada a 410 m.s.n.m, y con una capacidad de tratamiento de aproximadamente 420 L/s de acuerdo con los datos de operación existentes. El caudal tratado se reparte entre El Espinal, Chicoral y el área rural de la zona; en la actualidad se tratan entre 270 y 330 L/s, de acuerdo con los datos de la canaleta de entrada [1].



*Imagen 1. PTAP de El Espinal – Tolima.  
Fuente: tomado de la página web de la EAAA E.S.P.*

La macro medición de entrada con la cual se toma la decisión de regular el caudal de entrada y de dosificar los químicos involucrados en el tratamiento se realiza por medio de una canaleta Parshall de 24.8". Esta canaleta no cumple con los requisitos de instalación ni de construcción ya que sus paredes no son completamente verticales y su ancho de garganta no es el nominal (24"), influyendo notoriamente en el caudal medido. Actualmente se hace uso de una regleta para tener un dato medianamente exacto del caudal de ingreso a la planta, por tal razón en la actualidad se gestiona el uso de macro medidores [1].

### **7.3.1 Abastecimiento**

La fuente de abastecimiento del sistema es el río Coello, las aguas de este son captadas por el distrito de riego propiedad de USOCOELLO y parte de las mismas son conducidas hacia la PTAP para su tratamiento. El río es de carácter permanente y en él se presentan fenómenos relacionados con palizadas, que pueden taponar la bocatoma del distrito de riego y por consecuencia afectan al acueducto de El Espinal.

#### **7.3.1.1 Captación**

La captación se hace en la Presa de la Electrificadora del Tolima “La Ventana”, a una altura sobre el nivel del mar de 450 metros aproximadamente. Desde el punto de generación de la subestación de energía se conduce el agua a través de dos tuberías de 12” y 16” de aproximadamente 3.5 Km de longitud hasta un desarenador ubicado a la entrada de la planta de potabilización en el corregimiento de Chicoral.



*Imagen 2. Distrito de riego de UsoCoello.*

*Fuente: Tomado del Plan Básico de Ordenamiento Territorial Espinal (1999).*

La capacidad de captación es suficiente cuando hay continuidad de suministro por parte del canal de Usocoello, tanto para el casco urbano de El Espinal como para el corregimiento de Chicoral y el área rural servida.

### **7.3.1.2 Líneas de aducción**

Sobre las líneas de aducción se encuentran ventosas cuyo accionamiento se realiza de manera manual, las cuales no son adecuadas ya que el aire sólo ingresa a estas cuando por mantenimiento y operación de la central de generación se requiere interrumpir el paso de agua al desarenador, lo cual no es controlado por el personal del acueducto y por tanto no se tiene capacidad de respuesta inmediata para accionar las ventosas; debido a esto se está gestionando la implementación de ventosas de accionamiento automático para evitar posibles daños sobre las líneas por la presencia de aire en ellas en el momento de llenado. En general las tuberías de aducción se encuentran en buen estado y no se reportan daños importantes sobre estas.

La entrada a la planta de tratamiento se realiza mediante un empalme de las dos líneas a una sola tubería, la cual ingresa a la planta. El caudal de entrada a la planta es regulado mediante una especie de purga de la tubería de entrada que descarga directamente a una cámara de alcantarillado; para tal fin se abre o se cierra a la mitad del número de vueltas la válvula de purga, con el ánimo de dejar salir los excedentes. La capacidad de transporte de la aducción se registró a la entrada de la planta arrojando un caudal de 460 L/s sumando las dos tuberías (12" y 16").

### 7.3.2 Unidades PTAP

A corte del 31 de diciembre de 2016 el acueducto contaba con 20,391 usuarios en total. Todos los empleados de la PTAP se encuentran debidamente certificados en las tres competencias laborales para el manejo de la planta; operación de la planta, caracterización del agua y seguridad en el trabajo.

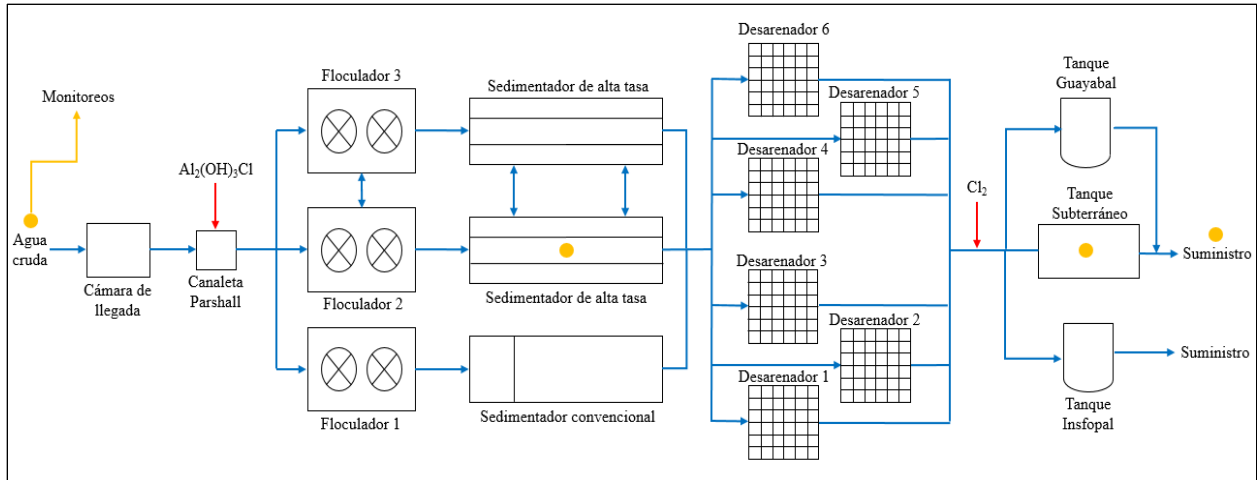


Ilustración 3. Unidades de operación de la PTAP.

Fuente: Autores.

#### 7.3.2.1 Cámara de llegada

En este punto el agua cruda llega conducida por las líneas de aducción desde el distrito de riego UsoCoello a la PTAP, en este punto el agua se mezcla para homogenizar sus características y posteriormente ser medida.



Imagen 3. Cámara de llegada del Distrito de Coello a la PTAP.

Fuente: Autores.

### 7.3.2.2 Canaleta Parshall

Después de pasar por la cámara de almacenamiento de agua cruda pasa por rebose a la canaleta Parshall, allí se hace la medición del caudal y la dosificación de floculante al agua.



*Imagen 4. Regleta para medición de caudal de recibo del agua del Distrito de riego*  
*Fuente: Autores.*

### 7.3.2.3 Floculación (3 unidades)

Como floculante se utiliza Policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$ . Inicialmente se utilizaba sulfato de aluminio, por costos. El agua llegaba a ciertas unidades de turbiedad y color esperadas en el proceso de potabilización; sin embargo era necesario suspender las operaciones puesto que no eran trabajables las condiciones que alcanzaba el agua para las demás unidades de la planta. El floculador 1 se encuentra independiente y opera con normalidad, los floculadores 2 y 3 se encuentran unidos en sus compartimientos por lo que siempre operan en simultáneo.



*Imagen 5. Unidades de floculación de la planta de potabilización.*  
*Fuente: Autores.*

#### 7.3.2.4 Sedimentación (3 unidades)

La PTAP de El Espinal cuenta con tres sedimentadores; uno convencional y dos de alta tasa. En el sedimentador convencional el sedimento se deposita en el fondo de la unidad debido al flujo laminar del agua a través de la estructura y al peso de aquellas partículas sólidas en movimiento que se han ido uniendo por acción del floculador hasta finalmente desecharse como lodos residuales por el lavado de las unidades. Los sedimentadores de alta tasa son comúnmente utilizados para el tratamiento de aguas residuales como tanque de sedimentación primario, secundario o terciario, ya que mejoran la capacidad del sedimentador convencional mediante placas que son inclinadas con respecto a la horizontal y que subdividen el espacio en compartimentos de modo que divide el caudal y da lugar al régimen hidráulico laminar [11].



*Imagen 6. Unidades de sedimentación de la planta de potabilización  
Fuentes: Autores.*

#### 7.3.2.5 Filtración (6 unidades)

Se cuenta con 6 unidades de filtración para lograr un proceso eficaz de separación de las partículas sólido - líquido logrando acondicionar el agua para el proceso de desinfección. El proceso que se lleva a cabo mediante medio poroso suele utilizar generalmente arena o arena + antracita .El espesor de la capa de arena oscila entre 0,7 - 1m y la talla efectiva entre 0.8 - 1mm. En el caso de

lechos bicapa, el espesor de arena es 1/3 del total y sobre ella una capa de antracita de 2/3 del espesor total y talla efectiva entre 1,2 - 2,5mm. [12].



*Imagen 7. Unidades de filtración de la PTAP  
Fuentes: Autores.*

#### **7.3.2.6 Cloración**

El proceso de desinfección se realiza por medio de la adición de cloro mediante un rotámetro dosificador el cual extrae el cloro de un cilindro de 1000 lbf directamente al agua filtrada. Existe un peligro latente con el cloro gaseoso que es empleado en la PTAP y por medio del cual se desinfecta el agua puesto que este gas es altamente toxico y corrosivo. Siempre se entrega un kit de emergencias en caso de fuga al ingresar a la PTAP.

#### **7.3.3 Almacenamiento**

El sistema de almacenamiento cuenta con (3) tres tanques, (2) dos para suplir a El Espinal y uno (1) para suplir al corregimiento de Chicoral, el sector rural del municipio y el lavado y uso interno de la PTAP.

#### Sistema de almacenamiento para El Espinal:

- ✓ *Tanque de almacenamiento número 1.* Presta servicio la totalidad del tiempo y se encuentra localizado en los terrenos de la PTAP de forma subterránea. Su capacidad instalada es de 2,100 m<sup>3</sup> y es de tipo enterrado. Este tanque está construido en concreto reforzado y su estructura está en buenas condiciones, esta empedrado completamente en la superficie y cuenta con un sistema de canales perimetrales para evacuación de aguas lluvias y aguas que se filtran por escorrentía. El tanque cuenta con una mira invertida para medición de nivel.
- ✓ *Tanque de almacenamiento número 2.* Se encuentra localizado en la escuela de la vereda de Guayabal y fue construido como tanque de compensación con capacidad de 3200 m<sup>3</sup>. Durante las horas de máximo consumo u horas pico de consumo, las aguas de este tanque son bombeadas hacia la red de distribución.

#### Sistema de almacenamiento para Chicoral:

- ✓ *Tanque de almacenamiento número 3.* Se encuentra localizado en los terrenos de la PTAP y presta servicio la totalidad del tiempo. Su capacidad instalada de almacenamiento es de 284 m<sup>3</sup> y es de tipo elevado. Este tanque es de tipo Insfopal y su estructura está en buenas condiciones, se alimenta por un sistema de bombeo compuesto por dos bombas que impulsan el agua por una tubería de 12”.



*Imagen 8. Tanque elevado de tipo “Insfopal” en la PTAP  
Fuente: Autores.*

#### **7.3.4 Distribución**

El agua tratada se transporta mediante una red de conducción cuya longitud es de aproximadamente 26 Km y se encuentra compuesta por tuberías de 10” y 16”. A la altura de vereda Guayabal las líneas de conducción se conectan con el tanque de igual nombre (que sirve como compensación) mediante un by pass.

#### **7.3.5 Control de calidad**

Para garantizar el control de calidad del agua tratada en la PTAP se realizan los siguientes monitoreos:

- ✓ Monitoreo del agua cruda – ingreso a la PTAP (únicamente parámetros físicos).
- ✓ Monitoreo del agua en proceso de tratamiento (unidades).
- ✓ Monitoreo del agua en los tanques de almacenamiento (parámetros fisicoquímicos y microbiológicos).
- ✓ Monitoreo del agua distribuida (9 puntos de muestreo concertados con la secretaria de salud a lo largo de la red de distribución).

### 7.3.5.1 Frecuencia de análisis de calidad

- ✓ *Agua cruda.* Se toma una muestra simple cada 2h y se realizan pruebas fisicoquímicas (dependiendo si se nota alguna anomalía realiza más de 1 prueba). Posteriormente se promedian los resultados obtenidos por día.
- ✓ *Agua potabilizada.* Análisis cada 4h más el residual de cloro.
- ✓ *Agua almacenada.* Se toma una muestra simple cada 4h y se realizan pruebas fisicoquímicas.
- ✓ *Agua distribuida.* Se realiza a solicitud de la secretaria de salud.

### 7.3.5.2 Laboratorio fisicoquímico y microbiológico

El laboratorio fisicoquímico y microbiológico está debidamente certificado y todos los equipos cuentan con mantenimiento preventivo y certificados de calibración. También participa en el programa “Interlaboratorio” de control de calidad de agua potable del Instituto Nacional de Salud, el cual emite la aprobación para que el laboratorio haga pruebas de calidad de agua.

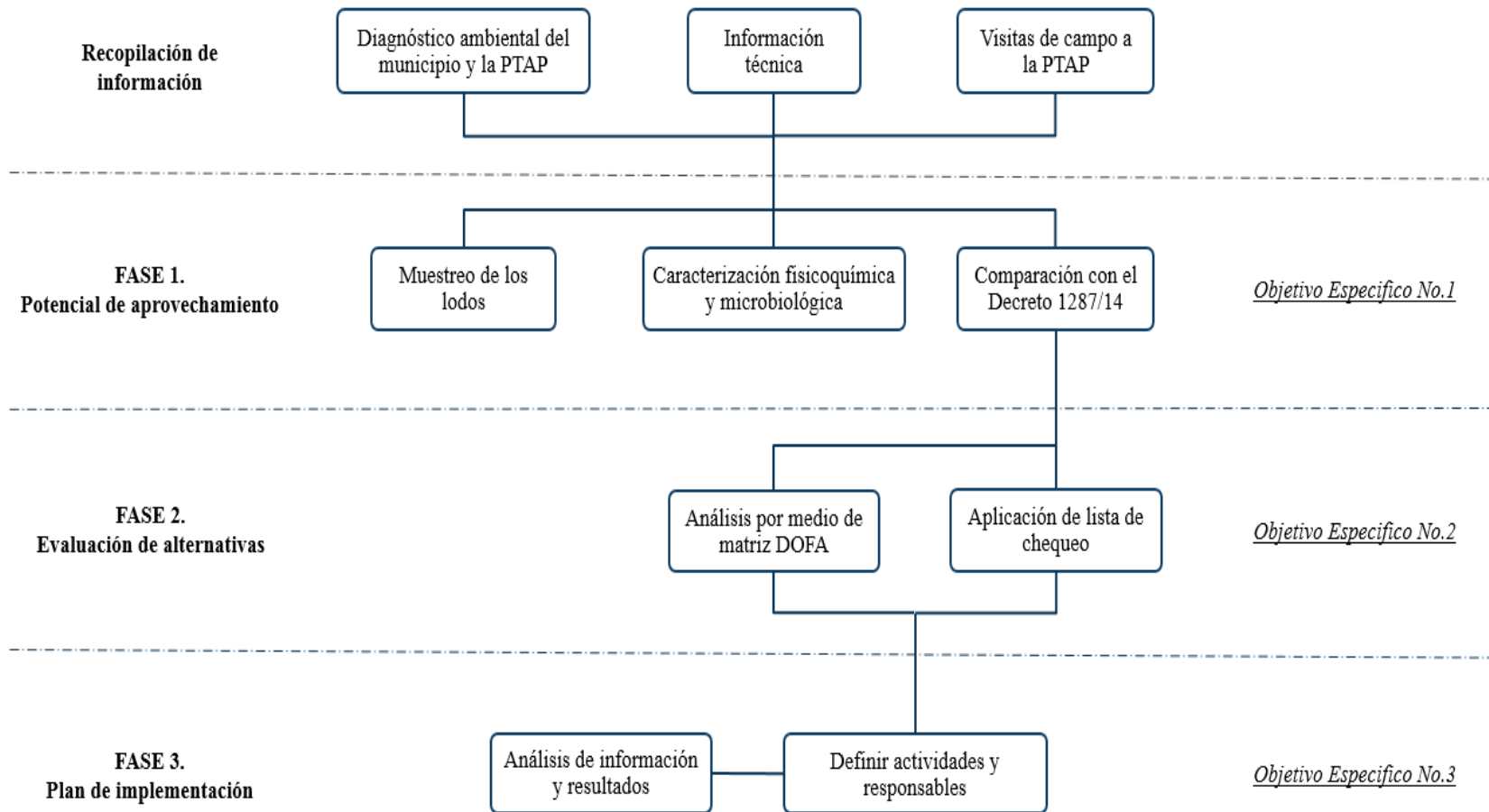


*Imagen 9. Laboratorio fisicoquímico – microbiológico de la PTAP  
Fuente: Autores.*

## **8 Metodología**

El proyecto se realizó utilizando una metodología mixta en la que los objetivos específicos presentan características cualitativas y cuantitativas que permiten la integración y discusión conjunta de los datos e información recopilada, esto con el fin de lograr un mayor entendimiento y análisis del estudio del caso y la proposición de alternativas para el tratamiento y aprovechamiento de los lodos generados en la PTAP de El Espinal – Tolima.

Inicialmente se establece una etapa de recopilación y análisis de información y adicionalmente se definieron tres (3) fases que contienen actividades concretas, las cuales, al ser realizadas permiten cumplir con el objetivo específico al que se encuentran asociadas. Se inicia con una etapa o “pre-fase” de recopilación y análisis de información con el fin de tener una visión general de la información necesaria para el desarrollo del proyecto. Durante esta etapa se contempló la necesidad de realizar visitas de campo en la PTAP con el fin de levantar un diagnóstico inicial de la problemática del manejo de lodos. Posteriormente, en la Fase 1 el muestreo y la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos residuales permiten determinar su potencial de aprovechamiento por medio de la comparación con la normatividad vigente (Decreto 1287 del 2014). Se prosigue con la Fase 2 al evaluar las alternativas de aprovechamiento que establece dicha norma mediante herramientas de análisis combinada (checklist y matriz DOFA) seleccionando la alternativa que resulta más favorable y viable para el caso de estudio, y se finaliza en la Fase 3 con la formulación de un plan de implementación que defina las actividades relevantes y los responsables de llevarlas a cabo.



*Ilustración 4. Esquema general de la metodología utilizada.  
Fuente: Autores.*

## **9 Resultados y análisis de resultados**

### **9.1 Recopilación de información**

La recopilación de información fue una pre-fase diseñada como punto de partida para establecer contacto con la EAAA de El Espinal y específicamente con la Ing. Yajaira Perdomo, profesional encargada de la operación de la PTAP y PTAR de El Espinal, con el fin de levantar una línea base sobre los temas que requieren mayor atención en cuanto al manejo y operación de la PTAP y establecer el tema objeto del presente trabajo de grado. Se realizaron tres visitas de campo con el propósito de:

1. Dar a conocer la intención de desarrollar un estudio enfocado a la investigación y proposición de soluciones de alguna de las principales problemáticas identificadas como aspectos ambientales con impactos negativos inherentes a la operación de la PTAP. Esto fue determinante puesto que la EAAA E.S.P esta intervenida por la Superservicios y se requirió que el acercamiento inicial se realizara con el Superintendente encargado de su gestión.
2. Observar en campo las condiciones de la PTAP y el funcionamiento de la misma; operaciones unitarias, distribución y recorrido del agua por la planta, instalaciones de monitoreo, almacenamiento y distribución, entre otras, y levantamiento de registro fotográfico.
3. Definir el tema central de la investigación (tratamiento y aprovechamiento de los lodos residuales generados como subproducto de la potabilización del agua) y recopilación de información suministrada por la Ing. Yajaira Perdomo; diagnóstico ambiental del

municipio, informe ambiental de la PTAP, informe ejecutivo de gestión de la EAAA E.S.P caracterizaciones de agua cruda y agua tratada, entre otros.

Posteriormente, se compiló la información técnica necesaria (bibliografía) para soportar el trabajo de grado, enfocada al manejo y estabilización de lodos residuales y las técnicas existentes de tratamiento y aprovechamiento de los mismos.

## **9.2 Fase 1. Potencial de aprovechamiento**

La fase 1 se compone de tres actividades específicas para lograr el objetivo 1. Las actividades son: muestro de lodos, caracterización de los lodos y determinación del potencial de los biosólidos.

### **9.2.1 Muestreo de los lodos**

El día 9 de junio del 2017 se realizó visita previa al muestreo con el fin conocer el proceso de lavado y evacuación de los lodos y así establecer el procedimiento para toma de muestras. Este mismo día se determinó en conjunto con la Ing. Yajaira Perdomo que el muestreo se realizaría en los lodos producidos en el sedimentador convencional que se encuentra conectado en línea con el floculador 1. Se determinó de esta manera dado que es en las unidades de sedimentación donde se retiran cerca del 70% de los lodos residuales en la unidades de tratamiento de las PTAP, además, el sedimentador convencional fue el que presento las mayores facilidades para vaciado y toma de muestra.



*Imagen 10. Generación de materia orgánica*  
*Fuente: Autores.*

Durante la inspección realizada se observó una alta turbiedad en los tratamientos primarios de la PTAP, posiblemente debido a la temporada de lluvias.



*Imagen 11. Agua en proceso de tratamiento*  
*Fuente: Autores.*

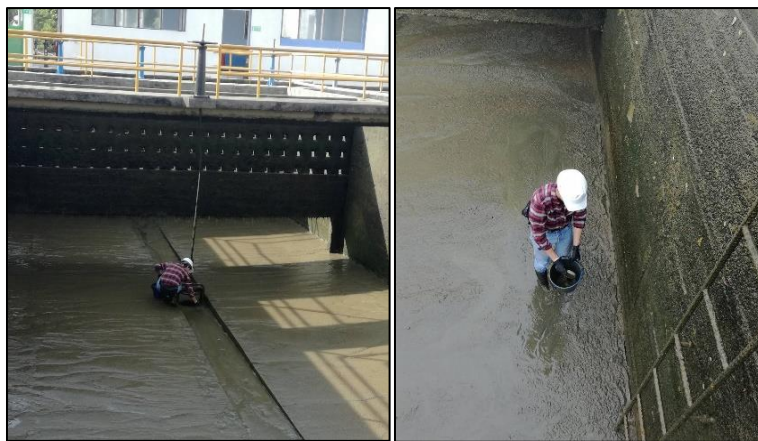
Durante la visita se realizó el lavado de los floculadores 2 y 3 en las horas de la tarde. En la imagen 11 se observan los lodos producidos en las unidades de floculación, posterior al vaciado de las mismas para su lavado con agua (a alta presión) tratada en la PTAP. Estos lodos son liberados al alcantarillado del corregimiento de Chicoral por medio del sistema de tuberías que se evidencia en las siguientes imágenes.



*Imagen 12. Salida de lodos después del lavado*

*Fuente: Autores.*

El muestreo de lodos se realizó el día lunes 7 de agosto de 2017 en las horas de la mañana, dado la infraestructura y las operaciones que se llevan a cabo en la PTAP, fue necesario realizar el muestreo antes del lavado de la unidad de sedimentación ya que esto facilita la toma directa del lodo. Se realizó un muestreo compuesto ya que se tomaron 10 puntos a lo largo y ancho de la unidad de sedimentación y se mezclaron en un balde (previamente purgado) para obtener una muestra homogénea y representativa de los lodos. La hora del muestreo fue a las 8:10 de la mañana tal como se muestra en la cadena de custodia.



*Imagen 13. Toma de muestra de lodo*

*Fuente: Autores.*

Los lodos compuestos en el balde se dejaron decantar durante 2,5 horas con el fin de que los sólidos se depositaran y retirar el exceso de agua, posteriormente se retiró el sobrenadante sin agitar los

lodos decantados (fango). Luego se dispuso del fango sobre material impermeable al sol con el fin de que este se seque disminuyendo aún más su porcentaje de agua y la proliferación de vectores. Se prosiguió al trasvase del lodo a una bolsa ziploc (análisis de metales) y a un frasco (análisis microbiológico) para su respectivo análisis en el laboratorio; la bolsa fue embalada y envuelta en cinta. Estas muestras se empacaron, etiquetaron y refrigeraron a 4° por medio de gel refrigerante y una nevera de icopor. La muestra fue entrega al laboratorio ChemiLab en un lapso no mayor a 24 horas. Al finalizar el muestreo el operario a cargo procedió a realizar el lavado de la unidad (sedimentador convencional).



*Imagen 14. Muestra de lodo para analizar coliformes fecales  
Fuente: Autores.*

## **9.2.2 Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos**

La caracterización fisicoquímica y microbiológica se realizó por parte del laboratorio ChemiLab acreditado por el IDEAM; los análisis realizados corresponden a los métodos estándar de la EPA. Las pruebas a realizar se establecieron de acuerdo al decreto 1287 del 2014 y la resolución 0330 del 2017<sup>7</sup>. Se incluyó aluminio ( $Al^{+3}$ ) puesto que el coagulante utilizado es a base de este metal y

---

<sup>7</sup> El decreto 1287/14 define los aprovechamientos dependiendo del tipo de lodo A o B. Debido a que el decreto es específico para Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR municipales, se consultó e incluyó al presente estudio la resolución 0330 del 2017, “por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)...”, ya que, en la Sesión 5. Gestión de subproductos del tratamiento de agua residual, en el Art. 207. Caracterización de lodos y biosólidos, se establecen los mismos parámetros a caracterizar descritos en el Art.5 del decreto 1287/14.

la resolución 0330/17 así lo exige. Por otro lado, con respecto a las pruebas microbiológicas solo se realizó coliformes fecales termotolerantes; limitando el alcance del estudio. Esto debido a que en el momento de realizar la cotización de las pruebas se encontró que ningún laboratorio en la actualidad en la ciudad de Bogotá realiza las pruebas de virus entéricos en suelo y que las unidades del método utilizado por los laboratorios para determinar huevos de helminto no corresponden al exigido en la normatividad aplicada para este caso de estudio. Debido a que los análisis de los parámetros no se pudieron analizar en los laboratorios de la PTAP ya que en las instalaciones no contaban con los implementos necesarios para la determinación de los mismos, se contrató la caracterización de los lodos con un laboratorio externo excluyendo la determinación de *Salmonella* sp debido a su elevado costo.

A continuación, se presenta el reporte de resultados de la muestra de lodos de la PTAP de El Espinal, obtenida de la unidad de sedimentación convencional. De los 12 parámetros caracterizados 7 presentaron valores por debajo del límite de cuantificación del método, lo que indica que las concentraciones de estos parámetros son bajas. Por otro lado los valores más altos se evidenciaron en la concentración de aluminio ( $Al^{+3}$ ) y coliformes fecales termotolerantes.

Tabla 13. Reporte de resultados - muestra de lodo Chicoral del sedimentador No.3

Ítem	Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)	Parámetro	Método	Técnica	Límite de Cuantificación del método	Unidad	LODO PTAP CHICORAL TOLIMA M550815
1	2017-08-11	Aluminio Total*	EPA 3050 B-SM 3111 D	Digestión - AA - Llama Óxido Nitros -Acetileno	200,0	mg/kg ss	7960
2	2017-08-23	Arsénico Total*	EPA 7062-SM 3114 C	Digestión - AA - Generación de hidruros	0,5	mg/kg ss	1,83
3	2017-08-18	Cadmio Total*	EPA 3050 B-SM 3111 B	Digestión - AA - Llama Aire Acetileno	2,0	mg/kg ss	<2,0
4	2017-08-17	Cobre Total*	EPA 3050 B-SM 3111 B	Digestión - AA - Llama Aire Acetileno	20,0	mg/kg ss	<20,0
5	2017-08-09	Coliformes Fecales Termotolerantes*	Journal of Applied Microbiology 2004	Sustrato Enzimático Multicelda	1,0000	NMP/g ss	7270000,00
6	2017-08-25	Cromo Total*	EPA 3050 B y SM 3111 B	Digestión - AA - Llama Aire Acetileno	20,0	mg/kg ss	<20,0
7	2017-08-24	Mercurio Total*	EPA 7471, SM 3112 B	Espectrofotometría de Absorción Atómica - Vapor frio	0,2	mg/kg ss	<0,2
8	2017-08-11	Molibdeno Total*	EPA 3050 B, SM 3111 D	Digestión - AA - Llama Óxido Nitros -Acetileno	100,0	mg/kg ss	<100,0
9	2017-08-12	Níquel Total*	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión - AA - Llama Aire Acetileno	40,0	mg/kg ss	<40,0
10	2017-08-18	Plomo Total*	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión - AA - Llama Aire Acetileno	20,0	mg/kg ss	20,0
11	2017-08-19	Selenio Total*	EPA 7742 Revisión 0 Septiembre 1994 / SM 3114 C	Digestión - AA - Generación de hidruros	0,5	mg/kg ss	<0,5
12	2017-08-11	Zinc Total*	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión - AA - Llama Aire Acetileno	10,0	mg/kg ss	43,0

Nota: ARI: Agua Residual Industrial, ARD: Agua Residual Doméstica, ARnD: Agua Residual no Doméstica, AN: Agua Superficial o Subterránea, P: Agua Potable, S: Suelo, AM: Agua Marina, AX: Otros.

\*ChemiLab tiene estos parámetros acreditados mediante resolución 2016 de 2014 y 1226 de 2016 del IDEAM.

\*\*Análisis realizados por laboratorio subcontratado acreditado.

(P) PICCAP.

Parámetro no acreditado. Análisis de agua realizado por los laboratorios de ChemiLab

### **9.2.3 Comparación con el decreto 1287/14**

Para determinar el potencial de aprovechamiento de los biosólidos se realizó el comparativo entre los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica y microbiológica y los valores máximos permisibles del decreto 1287 del 2014, para clasificar el biosólido como tipo A o B y definir su potencial aprovechamiento. A continuación, se presenta el cuadro comparativo donde se observa que a diferencia del aluminio ( $Al^{+3}$ ) que no hacía parte originalmente de los parámetros exigidos por la normatividad aplicada para el caso de estudio, el único valor que “podría” presentar valores por encima de los límites de definidos por el decreto 1287/14 es molibdeno; dado que este valor podría encontrarse en alguno de los rangos para clasificar el biosólido como tipo A o B; entre 18 y 75 mg/kg ss respectivamente, se debe realizar un análisis más detallado, con el fin de analizar la presencia de este metal. Se deduce que su presencia se debe al arrastre de sedimentos ya que ningún compuesto que contenga este metal es utilizado en las unidades de la PTAP. Los demás valores se encuentran dentro del rango para clasificar el biosólido como tipo A.

Tabla 14. Análisis comparativo entre los resultados de la caracterización y el decreto 1287/14

Criterio	Variable	Unidades	Valores máximos permisibles		Resultado lodo PTAP Chicoral -Tolima	Unidad	Resultado
			A	B			
<b>Químicos (metales)</b>	Aluminio (Al)*		-	-	7960	mg/kg ss	-
	Arsénico (As)		20	40	1,83	mg/kg ss	A
	Cadmio (Cd)		8	40	<2,0	mg/kg ss	A
	Cobre (Cu)		1.000,00	1.750,00	<20,0	mg/kg ss	A
	Cromo (Cr)		1.000,00	1.500,00	<20,0	mg/kg ss	A
	Mercurio (Hg)	mg / kg (biosólido en base seca)	10	20	<0,2	mg/kg ss	A
	Molibdeno (Mb)		18	75	<100,0	mg/kg ss	(+)
	Níquel (Ni)		80	420	<40,0	mg/kg ss	A
	Plomo (Pb)		300	400	20	mg/kg ss	A
	Selenio (Se)		36	100	<0,5	mg/kg ss	A
	Zinc (Zn)		2.000,00	2.800,00	43	mg/kg ss	A
<b>Microbiológicos</b>	Coliformes Fecales	Unidades Formadoras de Colonias – UFC / 1g de biosólido (base seca)	<1,00 E (+3)	<2,00 E (+6)	7270000,00	NMP/g ss	A

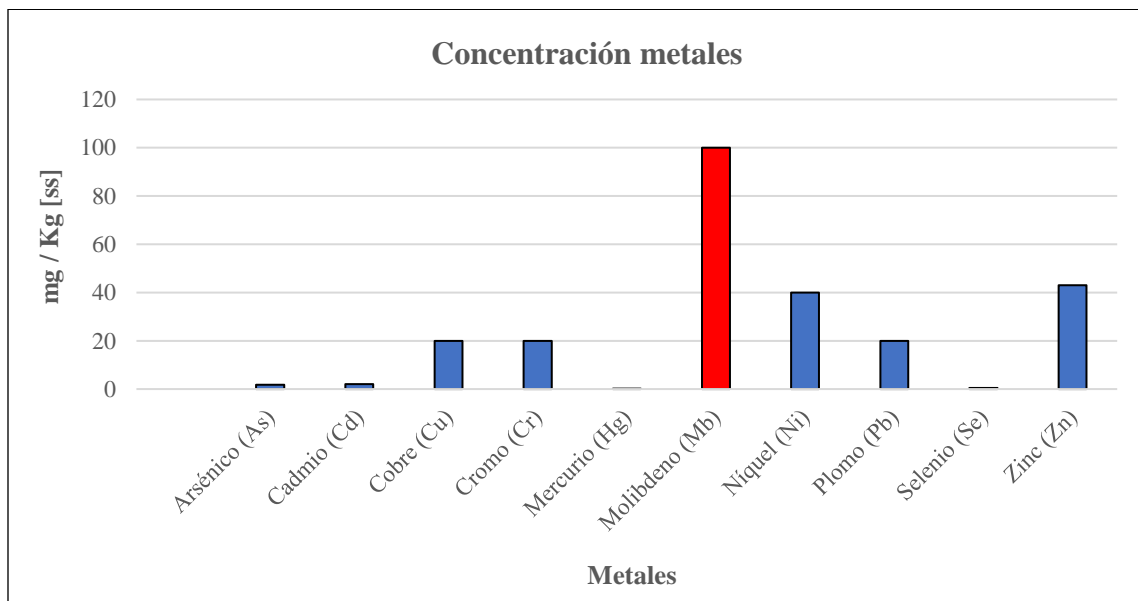
*Nota:* \* Se incluyó el metal Aluminio dado que el coagulante que usan en la PTAP es a base de dicho metal. No se compara con la norma, pero se tiene en cuenta para el análisis y selección de tratamiento y alternativa mejor calificada.

(+) Considerar técnicas para reducción de molibdeno para aplicación en suelo.

Fuente: Autores.

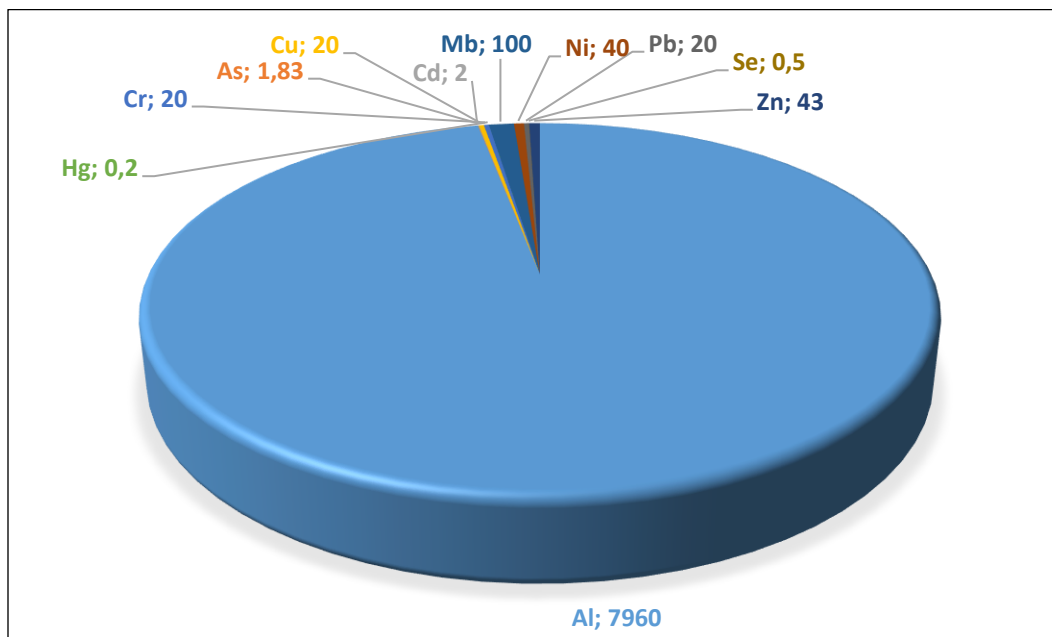
Inicialmente al analizar los resultados para metales podemos observar que el valor más alto corresponde para el metal aluminio ( $Al^{+3}$ ) esto se debe a que en la PTAP se utiliza como coagulante inorgánico el poli cloruro de aluminio, el cual es a base de sales de aluminio polimerizadas  $Al_2(OH)_3Cl$ ; el valor residual de aluminio de 7960 mg/kg ss nos indica que:

1. Hay alta dosificación del coagulante que contribuye a la remoción de sólidos suspendidos, color y turbidez en el agua; optimizando la generación de floc y mejorando la velocidad de sedimentación en el agua; dado que este coagulante genera un menor residual de aluminio en comparación con otros como el sulfato de aluminio y el cloruro de aluminio.
2. El valor elevado de la concentración de aluminio nos permite evidenciar que el residual de este metal esta queda contenido en el manto de lodos que se deposita en el sedimentador convencional. Esto lo comprueban las tablas de agua bruta que ingresa en la PTAP y el agua de salida tratada y distribuida, ya que el agua cruda ingresa a la PTAP con valores bajos de aluminio del orden de 0,4 y 0,11 ppm y sale para distribución con valores entre 0,05 y 0,07 ppm.



Gráfica 1. Concentración de los metales del decreto 1287/14 presentes en la muestra  
Fuente: Autores.

Es posible que gran parte de los sólidos arrastrados provenientes del río Coello traiga consigo arenas y arcillas (aluminosilicatos), mineral que finalmente queda retenido en los lodos residuales. En el gráfico 2 se evidencia que aluminio ( $Al^{+3}$ ) es el metal más predominante de los metales presentes en la muestra, lo cual indica un enorme potencial en aquellas alternativas que requieren de sus propiedades, pero así mismo una desventaja para las alternativas que requieran reducción de aluminio para lograr el aprovechamiento o uso esperado.



Gráfica 2. Concentración de metales del decreto 1287/14 incluyendo Aluminio ( $Al^{+3}$ )  
Fuente: Autores.

En el caso de coliformes fecales termotolerantes se debe aclarar que los valores establecidos por la norma están dados en Unidades Formadoras de Colonias - UFC/g de biosólido (base seca) y los reportados por el laboratorio son: 7.270.000,00 Número Más Probable - NMP/g ss; estas unidades representan lo mismo ya que la técnica de NMP determina por medio de diluciones la cantidad de organismos unicelulares que aproximadamente se encuentran presentes en la muestra, y la técnica de UFC determina por medio de conteos en placa la cantidad de unidades formadoras (organismos

unicelulares) que pueden formar colonia, por lo tanto ambas unidades representan lo mismo: cantidad de organismos unicelulares (bacterias).

### **9.3 Fase 2. Evaluación de alternativas**

La fase 2 se integra de dos (2) actividades específicas para lograr el objetivo 2. Las actividades son: aplicación de lista de chequeo y análisis de la matriz DOFA.

#### **9.3.1 Aplicación de lista de chequeo**

Con el fin de comparar de manera cualitativa las ventajas y desventajas del aprovechamiento de los biosólidos tipo A y tipo B se elaboró un checklist que permite seleccionar la alternativa más viable para el caso de estudio. La alternativa seleccionada, es decir, la alternativa que presenta las mayores ventajas es analizada posteriormente mediante una Matriz DOFA, con el fin de determinar sus fortalezas (F), oportunidades (O) debilidades y amenazas (A) y plantear estrategias que permitan su implementación.

Para lograr aplicar la lista de chequeo se clasificaron las alternativas de aprovechamiento en tres (3) grupos dependiendo de los requerimientos necesarios para lograr el aprovechamiento:

- a) Alternativas que requieren estabilización y reducción de aluminio ( $AL^{+3}$ ).
- b) Alternativas que requieren estabilización, reducción de aluminio ( $AL^{+3}$ ) y la implementación de una técnica que permita transformar sus propiedades físicas, químicas o biológicas para obtener el aprovechamiento.
- c) Alternativas que solo requieren estabilización.

Posteriormente se identificó cuál de los anteriores grupos presentaba las mayores ventajas y las menores desventajas.

Debido a que el potencial de aprovechamiento de los lodos resulto ser de tipo A, este contempla también las alternativas para los lodos tipo B, por lo que se debió aplicar la lista de chequeo a todas las alternativas dispuestas en el decreto 1287/14 divididas en tres (3) grupos de la siguiente manera:

**a) Estabilización + Reducción de aluminio ( $Al^{+3}$ )**

1. Material de cobertura, relleno, o adecuación de zonas verdes (cementerios, separadores viales, campos de golf, y lotes vacíos).
2. Producto térreo para uso en áreas privadas (jardines, antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización).
3. Insumo para la remediación de suelos contaminados, construcción de lechos biológicos o como soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, adsorción y absorción.
4. Material de cobertura en la operación de rellenos sanitarios (cobertura diaria o final de cierre y clausura de plataformas, y en actividades de revegetalización y paisajismo).
5. Estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial secundaria o terciaria.
6. Material para revegetalización y paisajismo de escombreras.

**b) Estabilización + Reducción de aluminio ( $Al^{+3}$ ) + tratamiento (e.g. compostaje)**

7. Abono utilizado en procesos de agricultura.
8. Abono en procesos de agriculturas (posee restricciones de uso según el decreto).

9. Abono en plantaciones forestales.
10. Acondicionador de suelo (recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados).
11. Insumo en la fabricación de abonos o acondicionadores de suelo.

**c) Solo estabilización**

12. Insumo en la fabricación de materiales de construcción.
13. Material utilizado en procesos de valoración energética (aprovechamiento del potencial calorífico).

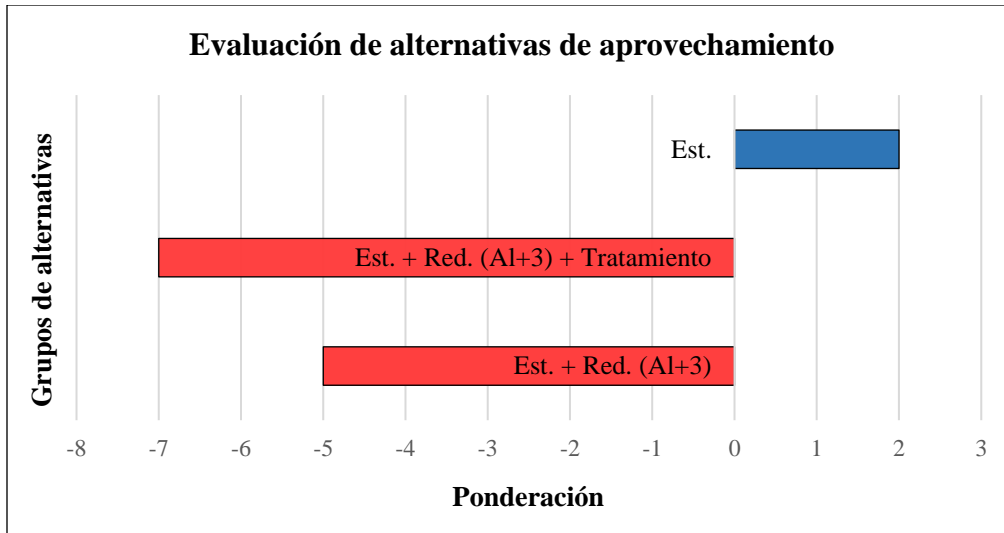
La lista de chequeo se compone de preguntas claves relacionadas con las ventajas y desventajas que pueden generar la implementación de las alternativas agrupadas para el caso de estudio de la siguiente manera:

Tabla 15. Aplicación lista de chequeo

Tratamiento	Est. + Red. (AI <sup>+3</sup> )	Est. + Red. (AI <sup>+3</sup> ) + Tratamiento	Est.
<b>Ventajas</b>			
¿La implementación de la alternativa puede generar beneficios económicos por su comercialización?		✓	✓
¿La implementación de la alternativa genera impactos positivos ambientales?	✓	✓	✓
¿Requiere cuantificación de lodos previo a la implementación?	✓	✓	✓
¿No involucra costos asociados al transporte?			✓
¿La alternativa no está sujeta a normatividad especializada?	✓		✓
¿La alternativa únicamente requiere estabilización?			✓
¿La implementación de la alternativa genera trabajo en la región?	✓	✓	
¿La implementación de la alternativa mejora la percepción de la empresa en la región?	✓	✓	✓
¿La alternativa seleccionada cuenta con mercado o se puede implementar en la región?		✓	✓
<b>Desventajas</b>			
¿Requiere estabilización de lodos?	x	x	x
¿Requiere reducción de aluminio (AI <sup>+3</sup> )?	x	x	
¿Requiere tratamiento físico, químico o biológico para lograr el aprovechamiento?	x	x	
¿Se requieren de largos tiempos para lograr el aprovechamiento?	x	x	
¿Requiere intervenciones de construcción considerables en las instalaciones ya existentes?	x	x	
¿Requiere de espacios amplios de instalación?	x	x	
¿Requiere alquiler o compra de terrenos?	x	x	x
¿La alternativa posee restricciones de uso?		x	
¿El producto derivado del aprovechamiento requiere inspecciones y monitoreo frecuente?		x	
¿Requiere planos o prediseños?	x	x	x
¿La implementación de la alternativa requiere agua?		x	
¿Requiere el uso de energía eléctrica?			x
¿Requiere la búsqueda de un mercado especializado?	x		x
¿El uso del producto puede generar impactos negativos ambientales?			x
¿La alternativa implica costos de transporte asociados?	x	x	
¿Requiere permisos, licencias o autorizaciones por parte de autoridades ambientales?		x	
<b>Total</b>	<b>- 5</b>	<b>- 7</b>	<b>+ 2</b>

Fuente: Autores.

La grafica No. 3 representa el grupo de alternativas de aprovechamiento que presentan la mayor cantidad de ventajas para el caso de estudio. Estas alternativas son las que únicamente requieren estabilización para lograr el aprovechamiento del biosólido entre las que se encuentran: insumo en la fabricación de materiales de construcción y material utilizado en procesos de valoración energética (aprovechamiento del potencial calorífico).

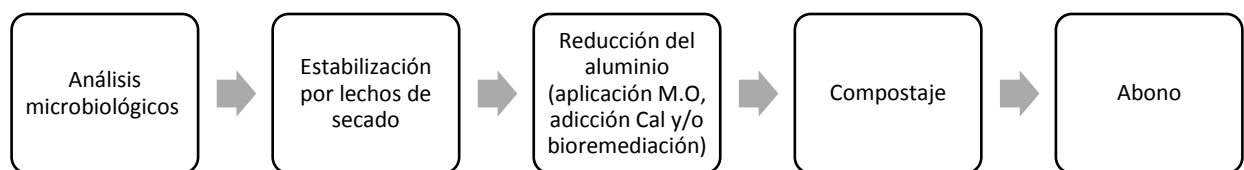


Gráfica 3. Ponderación para la evaluación de la alternativa mas viable.  
Fuente: Autores.

El grupo de alternativas que presenta la menor cantidad de ventajas o la mayor cantidad de desventajas es el que requiere estabilización + reducción de  $Al^{+3}$  + alguna técnica de tratamiento. Básicamente en este grupo se encuentran aquellas alternativas cuyo aprovechamiento final sería abono o acondicionadores del suelo.

Este grupo obtuvo la menor ponderación debido a que requiere de una técnica que permita la transformación del biosólido a abono o acondicionador de suelo, para esto se pueden compostar por medio de bacterias, actomicetos u hongos o lograr la composta por medio de lombricultura o vermicompost (uso de lombriz roja californiana). Para obtener el humus o abono por alguno de estos métodos se necesitaría espacio no solo para la estabilización de los lodos, sino también para

la construcción de las composteras o pilas de compostaje donde se llevaría a cabo el proceso, espacio con el cual actualmente no cuenta la PTAP de El Espinal. A demás, dado que la fuente de abastecimiento son las aguas del rio Coello captadas desde el distrito de riesgo de UsoCoello la probabilidad de que los lodos sirvan para aprovechamiento como abono o acondicionadores de suelo disminuye puesto que son más las arenas, limos y arcillas de los que se componen que por una cantidad considerable de materia orgánica, por lo que necesitarían de adiciones de sustrato o mezclas con otros materiales con elevado carbono para lograr una relación C/N óptima, diferente a los lodos residuales de las PTAR, que contienen toda la materia orgánica del agua depurada. No obstante lo anterior, también requerirían de un proceso de remoción de aluminio previo al compostaje de los lodos. Según (León, Amalia ,2008) quien realizo una evaluación del compost elaborado a partir de lodos provenientes de la potabilización del agua con alto contenido de sulfato de aluminio, cáscara de piña y residuos de jardinería; concluyó que el producto final obtenido de mezclas a base de lodos con sulfato de aluminio no se puede utilizar como acondicionador de suelos porque el aluminio se acumula en las plantas, imposibilitando la correcta asimilación de nutrientes. Otra razón por la que no se consideraron estas alternativas de aprovechamiento como opciones viables es que no se contó con los datos de Salmonella Sp, Huevos de helmintos viables y virus entéricos.



*Ilustración 5.* Diagrama de proceso para lograr el aprovechamiento de los biosólidos como abonos o acondicionadores del suelo.

Fuente: Autores.

En el grupo de alternativas que requiere estabilización + reducción de  $Al^{+3}$  se encuentran las alternativas de aplicación al suelo relacionadas con crecimiento de especies vegetales (revegetación o paisajismo) o como material terreo para cobertura. La razón por la que este grupo de alternativas no son viables es fundamentalmente porque requieren de tratamiento de los biosólidos para reducción de la alta concentración de aluminio ( $Al^{3+}$ ) para poder disponerlos en el suelo. Esto debido a que la alta concentración de aluminio en los suelos está asociada a la acidez del suelo y también a que estudios realizados demuestra que el alto contenido de aluminio tiene efectos nocivos y/o negativos en el suelo y en las plantas. En Uganda, Kaggawa y colaboradores (2001), estudiaron el efecto de la descarga de lodo obtenido de un coagulante de aluminio en el lago Victoria, encontrando anomalías en las raíces de algunas plantas y deficiencia de fósforo atribuyendo esto último a la presencia de aluminio que impide la correcta asimilación de fósforo por las raíces de las plantas.

Otros autores aun estudiado la afectación del sistema radicular de las plantas en suelos con altas concentraciones de aluminio y han concluido que: La concentración de  $Al^{3+}$  en las plantas cultivadas usualmente es más alta en las raíces que en los otros tejidos; cuando se presenta toxicidad por  $Al^{3+}$  se reduce el crecimiento radicular en longitud, las raíces laterales resultan seriamente afectadas y de esta manera se disminuye considerablemente el volumen de la raíz (Ownby y Popham, 1989). Las raíces afectadas por  $Al^{3+}$  exploran un volumen muy limitado del suelo y así se reduce su capacidad para tomar los nutrientes y el agua. El  $Al^{3+}$  interfiere con la toma, el transporte y la utilización de los elementos nutritivos del suelo (Wright, 1989).

Entre las alternativas de este grupo se encuentran la estabilización de taludes para mitigar su erosión posterior a la construcción de vías y lograr que el crecimiento de césped o especies arbustivas estabilicen los taludes con su sistema radicular.

Algunos de los métodos para lograr la reducción de aluminio en el suelo son:

- a) **La adición de materia orgánica.** Reduce la fitotoxicidad por aluminio mediante la formación de complejos entre los compuestos orgánicos con el elemento ( $\text{Al}^{3+}$ ) (Kerven, 1989).
  
- b) **Aplicación de cal al suelo.** Los carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), óxidos ( $\text{O}^{2-}$ ), hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) y silicatos de calcio o magnesio neutralizan los iones  $\text{H}^+$  en el suelo. La cal incrementa el pH del suelo al convertir el exceso de  $\text{H}^+$  en agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Además, el incremento del pH del suelo induce la precipitación del aluminio, como  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , que es un compuesto insoluble (Cumming y Weinstein, 1990); reduciendo de esta manera la acidez en los suelos contaminados con aluminio.
  
- c) **Biorremediación.** Algunos hongos saprófitos tienen la capacidad de tomar grandes cantidades de metales pesados y formar compuestos en sus micelios, con lo que contribuyen a reducir la toma de estos metales por parte de las plantas (Tobin, 1990).

El encalado de los suelos puede llegar a ser la opción más apropiada para tratar los biosólidos contaminados con aluminio, siendo este método el más accesible para los agricultores; lo cual requiere un vínculo colaborativo entre el sector agricultor y la parte operativa de la EAAA E.S.P con el fin de lograr una solución viable que beneficien ambas partes y reducir el incremento de los costos asociados a la compra de altas cantidades de Cal.

En el grupo que presentó la mayor ponderación se encuentran dos alternativas: biosólidos como insumo en la fabricación de materiales de construcción o como material utilizado en procesos de valoración energética (aprovechamiento del potencial calorífico). Para este último, se concluye que no sería viable debido a las siguientes consideraciones:

- ✓ Requeriría estudios adicionales para determinar el poder calorífico de los biosólidos y la peligrosidad de los biosólidos como residuo incinerable (CRETIB).
- ✓ Produce cenizas y gases que de no incinerarse bajo condiciones técnicas óptimas pueden producir impactos negativos.
- ✓ La recolección e incineración de los biosólidos acarrearía costos asociados al transporte y tratamiento (combustión) por parte de algún proveedor contratado.

Por esta razón se concluye que la opción más viable de las presentadas por el decreto 1287/14 para el aprovechamiento de lodos para la PTAP de El Espinal es como insumo en la fabricación de materiales de construcción.

En la actualidad se han realizado estudios para evaluar el potencial de lodos residuales en productos cementantes y bloques para construcción, con el fin de producir materiales de alta resistencia logrando que los metales pesados o sustancias lixiviables queden “encapsuladas” y evitar que salgan al contacto con el agua (Salazar, A. 2003). En el sector de la construcción el lodo es aprovechado en la fabricación de cementos Portland (Wang et al., 1998; Mangialardi, 2001;) y clinker (Geertsema et al., 1994) y en la producción de ladrillos cerámicos (Mejia y Delvasto, 1998; Nuvalori, 2002; Guimarães y Morita, 2003; Andreoli, 2005 y Hernández, 2006) usándose como reemplazo parcial de uno de los materiales, lo que puede traer beneficios como la disposición

ambiental segura para residuos potencialmente peligrosos, reducción de la contaminación hídrica causada por su vertimiento, menores gastos de energía, transporte y fabricación y menor utilización de recursos naturales, la reducción de la vegetación comprometida en la extracción de arcilla (principal componente del ladrillo), aumentando la vida útil de las canteras y puede llegar a reducir los costos de recomposición de áreas con vegetación nativa (Novaes et al., 2003; Araújo et al., 2005).

Según la información consultada para el presente trabajo, el aprovechamiento de los lodos estabilizados como insumo para la fabricación de materiales de construcción se puede lograr mediante la sustitución de alguno de los materiales que se emplean para su fabricación, ya sea sustitución parcial o total, logrando mezclas que cumplan con parámetros como: resistencia mecánica, resistencia térmica, tiempo de fraguado y absorción de humedad.

### **Remplazo en materiales para fabricar morteros y concretos de relleno**

En general, se distinguen dos tipos de cementos: naturales y artificiales. Actualmente, uno de los cementos artificiales de mayor utilización es el cemento Pórtland, el cual consiste en un polvo fino usualmente de color gris, compuesto primordialmente por óxidos de calcio, silicio, aluminio y hierro. Dependiendo de las características del material de remplazo y de su proporción en el cemento Pórtland, se obtiene cementos con diferentes propiedades en cuanto a resistencia mecánica, resistencia térmica, tiempo de fraguado, trabajabilidad, etc, dando origen al desarrollo de cementos especiales. (Vargas, Maricruz, 2006).

Según un estudio realizado por (Cerón, Oswaldo, 2010) en el que se elaboraron, especímenes cúbicos preparados con mezclas compuestas por lodo (producido a partir de sulfato de aluminio) combinado con materiales como: cemento Pórtland compuesto, cal hidratada, yeso, mortero tipo I, arena andesita malla 8, arena de río malla 8, agua destilada (todos de tipo comercial) y se les aplicaron pruebas de resistencia a la compresión y contracción por secado, presentan una aceptable viabilidad técnica para fabricar concretos de relleno y morteros para mampostería. En este estudio, las mezclas compuestas por lodo (90%) - cemento (10%) y lodo (90%) - cal (10%), presentaron valores altos de resistencia a la compresión - RC para morteros tipo I (153.63 Kg/cm<sup>2</sup> y 144.13 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente) y para concretos de relleno (125 Kg/cm<sup>2</sup>). En el mismo estudio se observó que la mejor mezcla compuesta por lodo (90%) - yeso (5%) - cemento (5%) presentó un valor de RC de 109.6 Kg/cm<sup>2</sup>, superior al valor recomendado en normas técnicas para un mortero tipo II (75 Kg/cm<sup>2</sup>); mientras que las mezclas elaboradas con la composición lodo (90%) – yeso (5%) – cemento (5%), cumplen con lo especificado para mortero tipo III (88 - 110 Kg/cm<sup>2</sup>), con la observación que para este caso se sustituyó la cal por el yeso (los morteros de cal son utilizados básicamente para aplanados y rellenos). Con base en estos resultados, se determinó que el lodo es un material que posee una aceptable viabilidad técnica para ser utilizado en este tipo de materiales de construcción.



*Imagen 15. Cemento Pórtland.  
Fuente: Gray cement poder (2017).*

## **Reemplazo en materiales para fabricar ladrillos cerámicos**

Las materias primas para fabricación de ladrillos cerámicos son materiales fundentes y estructurantes como las arcillas y arenas respectivamente, las cuales deben seguir un proceso de moldeado, secado, cocción y normalización en función de las normas que incluyen variables como resistencia a la compresión y absorción de agua (CAP, 2012). En la fabricación de ladrillos cerámicos en Colombia se usan comúnmente arcillas rojas, negras y arena de río, presentándose variación en la composición de los materiales, lo que incide directamente en la resistencia y la absorción de las unidades (CAP, 2012).

Según (Torres Patricia., 2012) y su investigación sobre “Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos” los resultados muestran que un reemplazo de arena por lodo del 10% se puede considerar un porcentaje adecuado en la fabricación de ladrillos cerámicos, ya que con valores superiores se comprometen de manera significativa la absorción de agua y principalmente la resistencia a la compresión. El mismo estudio indica que la dosificación de sulfato de aluminio en los procesos de potabilización está asociada a las características del agua cruda (condiciones de verano o invierno) presentando influencia sobre las características del lodo sedimentado, lo que puede afectar las características del mismo en términos de su potencialidad como material aprovechable para la preparación de ladrillos cerámicos. Otras fuentes (Hernández Darwin, 2006) indican que los mejores resultados fueron obtenidos con porcentajes de lodo alrededor del 10% (Nuvalori, 2002; Hernández, 2006) y realizando una previa reducción de humedad.

Considerando los estudios realizados por diferentes autores la efectividad del material de construcción ya sea concreto, ladrillos, tabicones, morteros...etc requiere una correcta dosificación en el reemplazo de los sustitutos (arena, cemento, Clinker, entre otros) por el biosólido. En términos generales se evidencia que el uso de lodos aluminosos favorece a las reacciones de la mezcla, puesto que en este caso de estudio se cuenta con un lodo con alto contenido de aluminio es un punto a favor para esta técnica y alternativa. Cada una de las técnicas mencionadas anteriormente por los autores referenciados no requieren de un tratamiento complejo (maquinaria o infraestructura compleja), logrando así reducir costos de operación, contribuyendo a minimizar el impacto ambiental debido a la descarga de los lodos residuales. Teniendo en cuenta que son técnicas que consisten netamente en agregados debidamente dosificados.



*Imagen 16. Ladrillo cerámico.  
Fuente: Diario El Correo S.A.*

### **9.3.2 Análisis de matriz DOFA para la alternativa seleccionada**

Con respecto a la alternativa de aprovechamiento de lodos estabilizados como insumo en la fabricación de materiales de construcción que presenta mayores ventajas y oportunidades para ser implementada por la EAAA del Espinal. Se realizó un análisis DOFA o FODA, que permitiera identificar las Debilidades (D), Oportunidades (O), Fortalezas (F) y Amenazas (A) de su implementación, y establecer estrategias y actividades de la siguiente manera:

- ✓ FO: Conducentes al uso y potencialización de las fortalezas internas de la EAAA E.S.P., con el objeto de aprovechar las oportunidades identificadas de la implementación de la alternativa seleccionada.
- ✓ DO: Dirigidas a mejorar las debilidades de la EAAA E.S.P utilizando las oportunidades externas en la implementación de la alternativa seleccionada
- ✓ DA: Conducentes a minimizar los peligros potenciales o amenazas en conjunción con las debilidades de la compañía.
- ✓ FA: Dirigidas a prevenir el impacto de las amenazas identificadas utilizando las fortalezas existentes.

Estas estrategias o acciones derivadas del análisis de la matriz DOFA se integran con el fin de estructurar el esquema del plan de implementación.

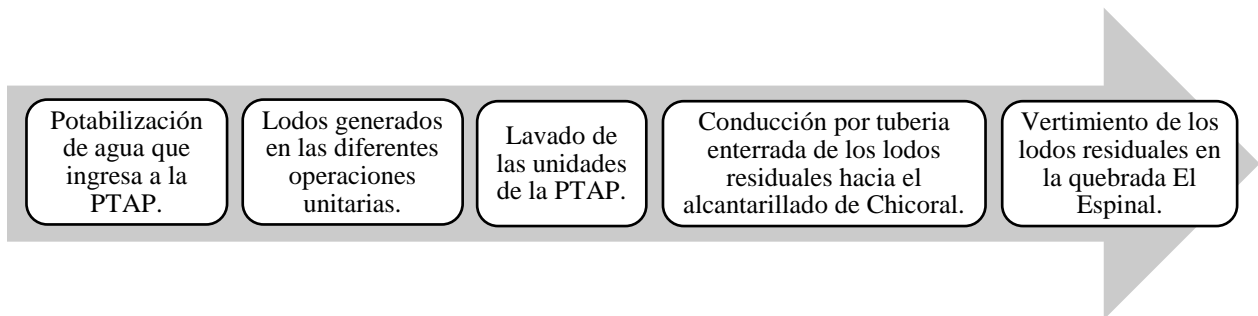
Tabla 16. Matriz DOFA

<p style="text-align: center;"><b>Factores internos</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Factores externos</b></p>	<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>
	<p>F1. Intervención por parte de la superservicios.</p> <p>F2. Compromiso por parte de la gerencia en la implementación.</p> <p>F3. Auge económico de la empresa con buenos crecimientos en los últimos 5 años.</p>	<p>D1. Desconocimiento sobre el manejo, aprovechamiento y disposición de lodos.</p> <p>D2. Necesidad de intervenir las instalaciones existentes (construcción).</p> <p>D3. Espacio insuficiente para la construcción de lechos de secado.</p> <p>D4. Demora en los tiempos de ejecución de proyectos para el manejo y aprovechamiento de lodos.</p> <p>D5. No cuenta con planos de las instalaciones.</p> <p>D6. No cuenta con cuantificación y caracterización de lodos.</p> <p>D7. Falta gestión de lodos por parte de la EAAA E.S.P. en la PTAP.</p>
<b>Oportunidades</b>	<b>Estrategias (FO)</b>	<b>Estrategias (DO)</b>
<p>O1. Cumplimiento de la normatividad legal vigente.</p> <p>O2. Manejo de lodos.</p> <p>O3. Ingresos por comercialización de los subproductos o alianzas comerciales con empresas del sector.</p> <p>O4. Disminución de costos de transporte.</p> <p>O5. Incremento de la buena reputación de la EAAA E.S.P.</p> <p>O6. Formación del personal en manejo y aprovechamiento de lodos.</p>	<p>✓ Realizar estudios adicionales que permitan identificar el costo/beneficio de la implementación de la alternativa. (O3, F2, F3).</p> <p>✓ Hacer un estudio de mercado que permita identificar las empresas del sector con la que se pueden comercializar los biosólidos y generar alianzas estratégicas (O2, O4, F2, F3).</p> <p>✓ Realizar una campaña de expectativas y comunicar a los stakeholders y partes interesadas en la página web los avances en la implementación de la alternativa (O5, F1, F2).</p> <p>✓ Construcción de lechos de secado para estabilización de lodos (O1, F1).</p>	<p>✓ Incluir en la matriz de formación del sistema de gestión de la empresa temas relacionados con: manejo y aprovechamiento de lodos, operación de lechos de secado y almacenamiento (O6, D1).</p> <p>✓ Intervenir la tubería que conduce los lodos hacia el alcantarillado de Chicoral (previo a la unión con las aguas grises de las áreas administrativas de la PTAP) (O1, O2, D2).</p> <p>✓ Levantamiento de planos de las unidades de la PTAP y de las instalaciones (O2, D5).</p> <p>✓ Realizar estudios de cuantificación de lodos (O2, D6, D7).</p>
<b>Amenazas</b>	<b>Estrategias (FA)</b>	<b>Estrategias (DA)</b>
<p>A1. No lograr el comercio de los biosólidos para la alternativa seleccionada.</p> <p>A2. No acatamiento de las normas en cuanto a bioseguridad y almacenamiento de biosólidos.</p>	<p>✓ Realizar estudios adicionales para recuperación de aluminio como coagulante (A1, F2, F3).</p>	<p>✓ Llevar registro del almacenamiento de biosólidos y del cumplimiento sanitario (A2, D4, D7).</p> <p>✓ Realizar caracterización microbiológica de biosólidos almacenados (A2, D6, D7).</p> <p>✓ Incluir las actividades de implementación de la alternativa seleccionada en el cronograma general de la EAAA E.S.P. (D2, D4, D5, D7).</p>

Fuente: Autores.

#### 9.4 Fase. 3 Formulación del plan de implementación

La alternativa mejor calificada cualitativamente, es acompañada con un plan de implementación el cual es necesario para el arranque y articulación de los aspectos de gestión claves. Dicho plan de implementación servirá de ayuda y soporte para determinar y establecer el cómo de la ejecución de la alternativa más apta para el caso de estudio “PTAP de El Espinal”. El proceso actual de la generación de lodos se describe en la siguiente ilustración:



*Ilustración 6. Flujo del proceso actual de generación de lodos en la PTAP de El Espinal  
Fuente: Autores.*

##### 9.4.1 Esquema del plan de implementación

Se formuló mediante un diagrama de procesos el esquema de implementación para la alternativa seleccionada incluyendo los estudios complementarios que deben realizarse y los escenarios en los que según un análisis de costo – beneficio (C/B) se requiera evaluar una alternativa que presente menos riesgo de inversión.

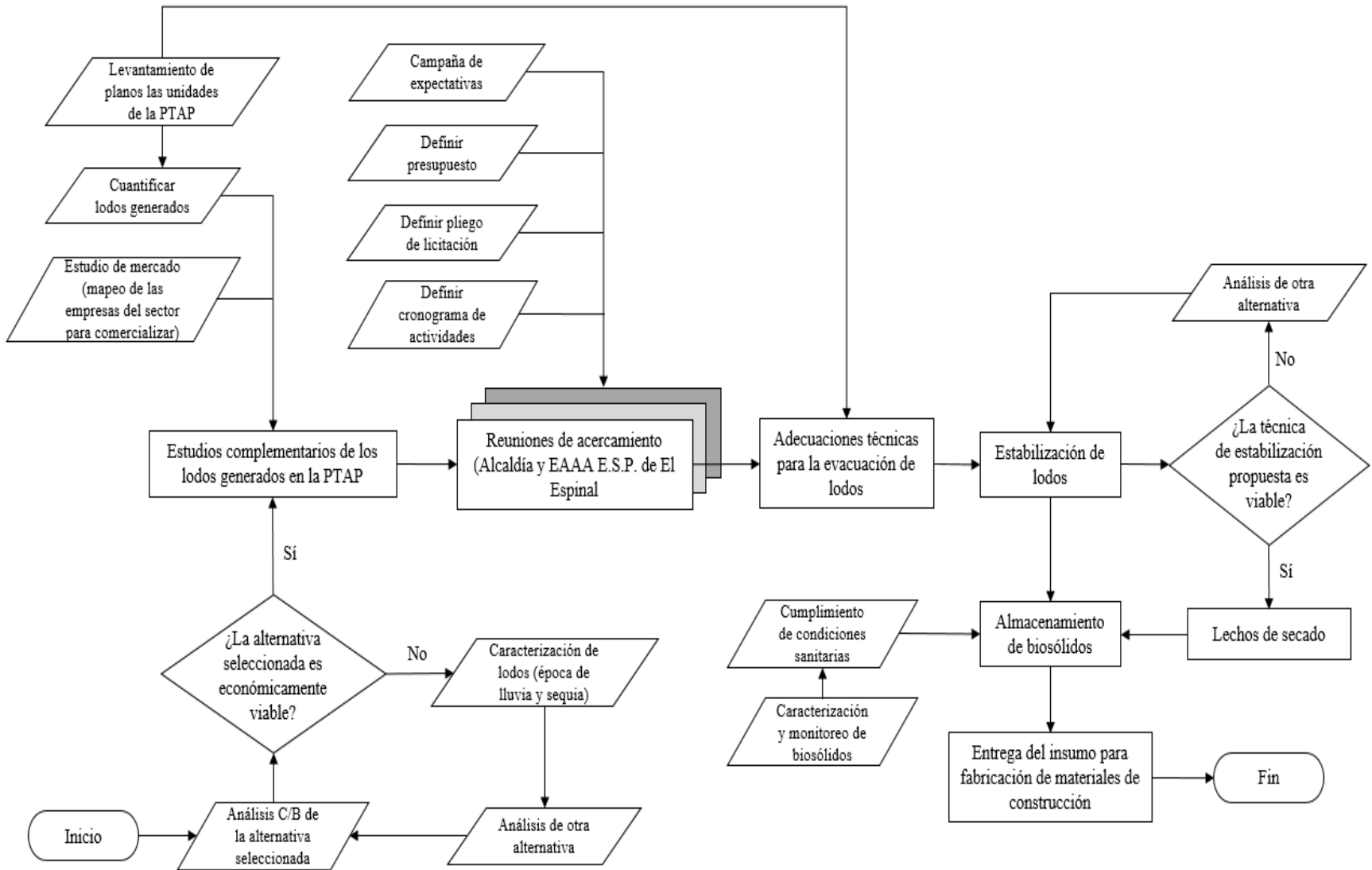


Ilustración 7. Esquema general del plan de implementación  
Fuente: Autores.

#### 9.4.2 Análisis Costo – Beneficio (C/B)

Este análisis involucra todos los costos destinados al desarrollo, gestión y mantenimiento de un proyecto con el fin de determinar si conviene o no realizar tal inversión. Se deberán realizar los siguientes análisis para determinar la viabilidad de la implementación de la alternativa:

- ✓ Análisis de costos: identificar y listar los rubros de costos asociados al proyecto (costos directos y costos indirectos).
- ✓ Análisis de beneficios: Se deberán considerar los beneficios que se puedan generar en el marco del proyecto (beneficios económicos, sociales y ambientales).

Según el informe ejecutivo de gestión de la EAAA E.S.P., elaborado por la superservicios en septiembre del 2013 los costos operacionales de la empresa en este año fueron de 3.231.122.943 COP (incluyendo gastos de personal y otros gastos). Se espera que la implementación de la alternativa seleccionada no supere el 2 o 3% de los gastos operacionales buscando su viabilidad.

*Tabla 17. Estados financieros de la EAAA ESP año 2012*

ESTADO DE RESULTADOS					
	2011	Part%	2012	Part%	Vari%
<b>Ingresos operacionales</b>	<b>5.468.249.837</b>	100,00	<b>6.741.440.896</b>	100,00	23,28
Servicio de Acueducto	4.241.345.194	77,56	4.984.690.166	73,94	17,53
Servicio de Alcantarillado	1.002.550.752	18,33	1.521.117.579	22,56	51,72
Otros Ingresos Operacionales	224.353.891	4,10	235.633.151	3,50	5,03
<b>Costos de venta</b>	<b>2.932.540.589</b>	<b>53,63</b>	<b>2.971.938.380</b>	<b>44,08</b>	<b>1,34</b>
<b>Utilidad Bruta</b>	<b>2.535.709.248</b>	46,37	<b>3.769.502.516</b>	55,92	48,66
Gastos operacionales	2.432.970.263	44,49	2.701.361.032	40,07	11,03
Gastos de personal	2.114.027	0,04	1.838.600	0,03	-13,03
Provisiones agotamientos depreciaciones y amortizaciones	63.767.791	1,17	769.375.017	11,41	1.106,53
<b>Utilidad operacional</b>	<b>36.857.167</b>	<b>0,67</b>	<b>296.927.867</b>	<b>4,40</b>	<b>705,62</b>
Otros ingresos	1.592.268.965	29,12	730.336.369	10,83	-54,13
Otros gastos	-359.127.781	-6,57	527.923.311	7,83	-247,00
<b>Utilidad antes de impuestos</b>	<b>1.988.253.913</b>	<b>36,36</b>	<b>499.340.925</b>	<b>7,41</b>	<b>-74,89</b>
Impuesto de renta	0	0,00	0	0,00	0,00
<b>Utilidad neta</b>	<b>1.988.253.913</b>	<b>36,36</b>	<b>499.340.925</b>	<b>7,41</b>	<b>-74,89</b>

*Fuente: informe ejecutivo de gestión de la EAAA E.S.P. (2013).*

### 9.4.3 Estudios complementarios de lodos generados en la PTAP

Se debe realizar la cuantificación de los lodos que se generan en la PTAP de El Espinal, con el fin de determinar las dimensiones de la tubería de conducción de lodos hacia los lechos de secado, el área de los lechos de secado, las dimensiones de la unidad de almacenamiento de los biosólidos, entre otros. Para ello inicialmente se debe contratar el dimensionamiento de las unidades de la PTAP, es decir el levantamiento de los planos de las unidades primarias.

De igual manera se debe realizar un estudio de mercadeo en el cual se establezcan alianzas y convenios con las empresas del sector de fabricación de material de construcción de la región, para así lograr una colaboración que al final beneficie a ambas partes; por un lado para que la empresa de EAAA E.S.P de El Espinal logre el aprovechamiento de los lodos residuales y por otro lado para que la empresa que los adquiere obtenga un beneficio económico al reemplazar materia prima (e.g. arena) por un insumo que según estudios mencionados anteriormente son viables en la fabricación de materiales de construcción.



*Imagen 17. Empresa productora de cementos en la región.  
Fuente: Tomado de la página web de Argos.*



*Imagen 18. Empresa ladrillera en la región.  
Fuente: Tomado de la página web de Ladrillera ICASALI S.A.S.*

Para el caso de estudio se hace mención a dos empresas de la industria de la construcción que podrían estar interesadas en el convenio con la EAAA E.S.P puesto mejorarían aún más su imagen en pro de ser una industria amigable con el medio ambiente y sostenible, evidenciando un impacto positivo en el mercado. Entre estas se encuentra Argos S.A., una cementera reconocida en el país que cuenta con una planta de producción en la región, también se encuentra en las cercanías la ladrillera ICASALI S.A.S. Son empresas que dado su cercanía al municipio de El Espinal y contando con la infraestructura, maquinaria y recursos necesarios podrían ser un excelente destino para el insumo obtenido de la deshidratación de lodos residuales por lechos de secado.

#### **9.4.4 Reuniones de acercamiento entre la alcaldía y la EAAA E.S.P.**

Se deben concertar reuniones entre las EAAA E.S.P. de El Espinal y la alcaldía del municipio de El Espinal con el fin de establecer una la agenda del proyecto y definir:

- ✓ El presupuesto. Definir la inversión que debe realizarse para la ejecución del proyecto.
- ✓ El pliego licitatorio. Definir los requisitos que deberán cumplir las empresas que deseen presentarse al concurso de méritos.
- ✓ El cronograma de ejecución. Definir los tiempos que requiere la ejecución del proyecto.

- ✓ Campaña de expectativas. Divulgación a las partes interesadas y población del municipio con el fin de que la EAAA E.S.P. incremente su buena percepción en la región y buscar transparencia en el proceso.

#### **9.4.5 Adecuaciones técnicas para la evacuación de lodos**

Según la información recopilada se debe instalar una tubería de desviación la cual transporte los lodos procedentes de las unidades de la PTAP evitando así que se contamine o altere los valores de los lodos con las aguas residuales provenientes del alcantarillado. La tubería que transporta los lodos residuales debe tener al final una válvula que permite el ingreso de los lodos a las celdas de los lechos de secado.

#### **9.4.6 Estabilización de lodos por lechos de secado**

Se debe realizar dimensionamiento del área a ser utilizada, como también la adecuación del terreno. El lecho de secado debe tener mínimo cuatro celdas. Su diseño depende del caudal de salida de la descarga de lodos o de espesamiento, con profundidades de aplicación de 0.3 a 0.9 metros; para lodos sin acondicionar, se deben aplicar cargas de entre 15 a 20 lt de lodo/m<sup>2</sup>/día, con un ciclo de secado de 3 a 4 días.



*Imagen 19. Lechos de secado*

*Fuente: SIAM. Servicios industriales y ambientales limitada*

## Generalidades:

Los lechos de secado se emplean para reducir la cantidad de los lodos y lograr que tengan porcentajes de humedad inferiores al 70 %.

## Geometría

Los elementos estructurales del lecho incluyen los muros laterales, tuberías de drenaje, capas de arena y grava, divisiones o tabiques, decantadores, canales de distribución de lodo y muros. Los muros laterales deben tener un borde libre entre 0.5 y 0.9 m por encima de la arena. Debe asegurarse que no existan filtraciones laterales a través de los muros separadores (RAS título E).

Tabla 18. Área requerida según la fuente del lodo y el cubrimiento del lecho

Fuente de lodo inicial	Área (m <sup>2</sup> /cap) (lecho sin cobertura)	Área (m <sup>2</sup> /cap) (lecho con cobertura)
Primario	0.07 – 0.14	0.05 – 0.09
Primario + químicos	0.14 – 0.23	0.09 – 0.173
Primario + filtros percoladores de baja tasa	0.12 – 0.17	0.086 – 0.145
Primario + lodos activados de desecho	0.16 – 0.51	0.094 – 0.156

Fuente: RAS título E.

Según (ACODAL, 2012) Las normas colombianas contempladas en el Reglamento de Agua Potable y Saneamiento, RAS, (aunque no en vigencia cuando se diseñaron las primeras instalaciones de este tipo) requieren que se cuente con un área mínima de 1 m<sup>2</sup> por cada 20 habitantes de población servida por la instalación de tratamiento. Aunque la pérdida de humedad por percolación es alta durante las primeras horas contadas a partir de la descarga del lodo sobre los lechos, la digestión continúa su curso por la producción de gas dentro del lecho. Ensayos de laboratorio muestran una disminución del contenido de VOCs de los lodos después de una semana de secado. Los lechos de secado están cubiertos con un techo

consistente en una lámina delgada de polietileno transparente que permite el paso de los rayos solares pero impide el ingreso de aguas lluvias.

El RAS en su título E establece las siguientes consideraciones técnicas para los lechos de secado:

### **Drenajes**

1. Medios de drenaje capas de grava y de arena.
2. La capa de grava debe tener un espesor entre 200 - 460 mm y la capa de arena un espesor entre 300 - 460 mm.
3. Las partículas de grava deben presentar un diámetro entre 3 - 25 mm. La arena debe tener un tamaño efectivo de los granos entre 0.3 - 0.75 mm. En algunos casos, en vez de arena se puede usar antracita o grava fina con tamaño efectivo de 0.4 mm.
4. La recolección de percolados se debe efectuar a través de tuberías de drenaje de plástico que deben tener no menos de 100 mm de diámetro y una pendiente no menor a 1%; deben espaciarse entre 2.5 y 6 m. Se deben localizar por debajo de la capa de grava con no menos de 150 mm de este material por encima de ellas.
5. La cubierta proporciona un techo al lecho de arena y su utilización depende de las condiciones ambientales de la zona.

### **Operación y mantenimiento**

Se debe incluir en el manual de operación de la PTAP los siguientes aspectos de la operación y mantenimiento de los lechos de secado:

- ✓ Control de olores.
- ✓ Control del lodo influente.

- ✓ Control de las dosificaciones.
- ✓ Operación bajo condiciones de carga mínima y máxima.
- ✓ Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo.
- ✓ Programa de inspección periódico.
- ✓ Control de insectos y crecimiento de plantas.
- ✓ Manejo de la torta de lodos seca.
- ✓ Programa de muestreos y control de muestras en el laboratorio.

Según (Valencia, 2013) el dimensionamiento adecuado para lechos de secado es el siguiente:

### **Diseño**

El diseño típico del lecho de secado es una caja en forma rectangular poco profunda que puede tener o no un sistema de drenaje. El lodo se aplica sobre el lecho en forma de capas de 20 a 40 cm de espesor y se deja secar al ambiente. Sus consideraciones de diseño son las siguientes:

### **Carga de Sólidos que ingresa al sedimentador (C):**

$$C = Q * SS$$

Donde:

Q = Caudal de diseño (L/s)

SS = Sólidos Suspendedos (mg/L)

### **Masa de Sólidos que conforman los lodos - (Msd):**

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

**Volumen diario de lodos digeridos - (Vld):**

$$Vdl = \left( \frac{Msd}{\rho_{lodo} * \left( \frac{\%sólidos}{100\%} \right)} \right)$$

Donde:

$\rho_{lodo}$  = Densidad del lodo (Kg/L)

%sólidos = porcentaje de sólidos (%); solidos presentes en el lodo entre 8 y 12%

**Volumen de lodos a extraerse - (Vel):**

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

Donde:

Td = Tiempo requerido para la digestión de lodos (d).Varía según la temperatura y se estima por la siguiente tabla

Temperatura °C	Tiempo de digestión (días)
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

*Fuente: (Valencia, 2013)*

**Área del Lecho de secado - (Als):**

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

Donde:

Ha = Profundidad de aplicación

**Área individual de los lechos de secado - (Alsi):**

$$Alsi = \frac{Als}{N^{\circ}Lechos}$$

**Longitud del lecho de secado – (L):**

$$L = \frac{A_{si}}{b}$$

Donde:

b<sup>8</sup> = ancho del lecho (m)

#### **9.4.7 Almacenamiento de biosólidos**

Los biosólidos no pueden ser almacenados por un período mayor a seis (6) meses, se deben garantizar:

- ✓ El control de las emisiones de gases.
- ✓ Manejo de lixiviados.
- ✓ Control a la proliferación de vectores.

---

<sup>8</sup> El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS / OPS recomienda asumir para el ancho del lecho de secado valores entre 3 y 6 m.

## 10 Conclusiones

- ✓ Se logró determinar el potencial de aprovechamiento de los lodos residuales por medio de caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas en comparación con el Decreto 1287 del 2014. Lo que demuestra que los lodos de la PTAP de El Espinal son aptos para su aprovechamiento como insumo para materiales de construcción; esto debido a que se incurriría en menos costos asociados al transporte y construcción de infraestructura.
- ✓ Se concluye que los valores de caracterizaciones para agua cruda para el mes de mayo y agosto del presente año cambian, es decir, son dependientes al periodo de lluvia y sequía característico de principio y final del año respectivamente (régimen bimodal); lo que indica que los valores fisicoquímicos que quedan en el lodo residual varían y por tal razón su potencial de aprovechamiento.
- ✓ Fue posible recopilar y analizar información con el fin de realizar un diagnóstico del tema de manejo de los lodos residuales producidos en la PTAP, como también hacer un acercamiento de la situación y problemática por la falta de su aprovechamiento y la necesidad del cumplimiento con la autoridad ambiental dado el vertimiento de los lodos en fuentes superficiales.
- ✓ Se evidencia en las caracterizaciones físico-químicas (metales) que el aluminio es el metal más prevalente en los lodos residuales dado el uso del coagulante poli cloruro de aluminio, es decir, los lodos generados en la PTAP de El Espinal son lodos aluminosos. En análisis con otros

documentos se hace relevancia a que el aluminio llega a ser muy importante para la resistencia de los materiales de construcción, lo que para este caso indica una fuerte inclinación a esta alternativa de aprovechamiento, además que permite el encapsulamiento de este metal y mitiga el riesgo de exposición al mismo.

- ✓ Por medio de herramientas de evaluación combinada como el checklist y matriz DOFA fue posible establecer la alternativa de tratamiento y aprovechamiento de lodos que mejor se acopló al caso de estudio. Se determina que mediante evaluación cualitativa se logró hacer acercamiento a la problemática y solución de la misma.
- ✓ Se identificó la alternativa más viable para el caso de estudio y así mismo se formula un plan concreto para su puesta en funcionamiento el cual se fundamenta en responsabilidades y obligaciones a cumplir como también las recomendaciones para su correcta puesta en marcha.
- ✓ Se estableció la deshidratación por lechos de secado como técnica de estabilización de los lodos más viables, dado que es más aplicable para la parte técnica y operativa dentro de la PTAP; ya que los lodos solo requieren ser deshidratados y no requieren de técnicas para reducción de aluminio ( $AL^{3+}$ ) o técnicas para transformación de sus propiedades físicas o químicas como el compostaje.
- ✓ Se escogió como aprovechamiento de lodos residuales para este caso de estudio; los lodos estabilizados y agregados para convertirlos en insumo para materiales de construcción. Los más recomendados para su elaboración son ladrillos cerámicos, tabicones y cemento portland.

## 11 Recomendaciones

- ✓ Es importante realizar caracterizaciones al menos en cada régimen climatológico, es decir, para lluvia y sequia puesto que eso trae consigo variaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua y por tal razón es muy probable que cambie el potencial de aprovechamiento de los lodos.
- ✓ Es de vital importancia que la empresa EAAA de El Espinal haga un estudio financiero para tener mayor control y buen manejo del presupuesto y gastos provenientes de la operación de la alternativa de tratamiento y aprovechamiento propuesta por los autores.
- ✓ Se debe buscar apoyo en entre las entidades de gestión del municipio como la alcaldía, con el fin de facilitar los recursos necesarios para la buena puesta en marcha de la investigación presentada por los autores.
- ✓ Se debe realizar convenio entre las empresas del sector de construcción como por ejemplo ARGOS y la ladrillera ICASALI S.A.S con el fin de establecer lasos de colaboración para el destino final del insumo para materiales de construcción.
- ✓ Es importante que se considere realizar estudios adicionales para determinar la trabajabilidad de los lodos estabilizados como insumo en los materiales de construcción (pruebas piloto), con el fin de determinar su resistencia a la compresión, establecer la efectividad y aplicabilidad de los lodos, y la calidad del producto final como ladrillo cerámico, tabicones y cemento portland.

- ✓ Se recomienda realizar dimensionamiento de toda la planta ya que hasta la fecha no existe planos que establezcan el área que pueda ser destinada para los procesos de tratamiento y aprovechamiento de los lodos residuales. De igual manera se deben cuantificar los lodos de manera teórica con el fin de conocer la cantidad de lodos a tratar.

## 12 Bibliografía

[1] Alcaldía de El Espinal –Tolima / Empresa de servicios públicos. Marzo del 2017.Obtenido de:  
<http://www.lespinal-tolima.gov.co/index.shtml>

[2] SASTOQUE PERILLA JORGE ENRIQUE (2015) Estrategias para el reusó de los lodos en la zona dos de la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá y plantas de tratamiento de aguas potables y residuales (Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales) BOGOTÁ. Universidad Militar Nueva Granada facultad de ingeniería especialización en planeación ambiental y manejo integral de los recursos naturales.

[3] LÓPEZ CAJIAO MILTON FELIPE (2009) Optimización del tratamiento, manejo y disposición de los lodos residuales de una industria láctea de la sabana de Bogotá, a través de la Incorporación de un bioactivador celular natural (Proyecto de grado) BOGOTÁ. Pontificia Universidad Javeriana Facultad de estudios ambientales y rurales.

[4] DONADO ROGER (2013) Plan de gestión para lodos generados en las PTAR de los municipios de Cumaral y San Martín de los llanos en el departamento del Meta (Trabajo de gado) BOGOTÁ. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de estudios ambientales y rurales.

[5] Programa De Manejo Integral De Los Lodos Generados En La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De La Universidad Tecnológica De Pereira  
Scientia et Technica Año XII, No 31, agosto de 2006 UTP. ISSN 0122-1701 285 Fecha de Recepción: 31 de Enero de 2006 Fecha de Aceptación: 14 Junio de 2006

[6] TREJOS VÉLEZ MARIANA - AGUDELO CARDONA NATALIA (2012) Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “comestibles la rosa” como alternativa para la generación de biosólidos. PEREIRA. Universidad

Tecnológica de Pereira facultad de ciencias ambientales administración ambiental junio de 2012  
Pereira

[7] ROMERO JAIRO (2005) Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño 3 edición -Tratamiento de lodos. BOGOTÁ. Escuela Colombiana de ingeniería.

[8] MÁRQUEZ S. KAREN ANDREA – PARRA M. CRISTIAN STEVEN (2009) Estudio de dos alternativas para el aprovechamiento de lodos secundarios de sistemas aerobios provenientes de PTAR'S jurisdicción de la CAR (Trabajo de grado) BOGOTÁ. Universidad de La Salle Facultad de ingeniería programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

[9] MORALES CUBILLOS INGRID JULIANA (2009) Aprovechamiento de lodos primarios provenientes del tratamiento de aguas residuales de una industria láctea por medio de la producción de concentrados para animales del sector porcícola y ganadero vacuno (Trabajo de grado) BOGOTÁ. Universidad de La Salle Facultad de ingeniería programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

[10] LINA MARÍA PÉREZ CHAVARRO (2010) Diagnóstico y optimización del sistema operativo y de mantenimiento del proceso de lodos activados en la planta de tratamiento “los Arellano” en el estado de Aguascalientes, México (Trabajo de grado) BOGOTÁ. Universidad de La Salle Facultad de ingeniería programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

[11] A. RINCON, OF.HERRERA y MF. ORTIZ (2013) Esquema para el dimensionamiento de unidades de sedimentación de alta tasa de flujo ascendente1 - Scheme for sizing the sedimentation units in high rate upflow. (Artículo Científico) PEREIRA .Revista N° 16 Universidad Católica De Pereira.

[12] (2003) Informe resume sobre los resultados de un test sobre el rendimiento del AFM® de Dryden Aqua, arena de sílice y de otros medios de filtrado a base de cristal triturado más comunes

en el mercado. (Información sitio web) FRANCIA. IFTS (Institut de la Filtration et des Techniques Séparatives [www.ifts-sls.com](http://www.ifts-sls.com)).

[13] VARGAS CAMARENO, MARICRUZ; MONTERO VILLALOBOS, MAVIS (2006) Estudio del uso del lodo residual de la empresa Extralum S. A. como material alternativo en la fabricación de cementos especiales (Artículo científico) COSTA RICA. Revista tecnología en marcha. VOL-3

[14] TORRES PATRICIA, HERNANDEZ DARWIN, PAREDES DIEGO (2012) Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos (Artículo científico) PEREIRA. Universidad del Valle. COLOMBIA. Universidad Tecnológica de Pereira. COLOMBIA. Revista ingeniería de construcción pág. 145-154

[15] HERNÁNDEZ, DARWIN; VILLEGAS, JUAN DAVID; CASTAÑO, JUAN MAURICIO; PAREDES, DIEGO (2006) Aprovechamiento De Lodos Aluminosos Generados En Sistemas De Potabilización, Mediante Su Incorporación Como Agregado En Materiales De Construcción (Artículo científico) MEDELLÍN. Universidad de Medellín. Revista de ingenierías VOL.5 Numero 8

[16] OSWALDO CERÓN, SANDRA MILLÁN, FABRICIO ESPEJEL, ARTURO RODRÍGUEZ, ROSA MARÍA RAMÍREZ (2010) Aplicación De Lodos De Plantas Potabilizadoras Para Elaborar Materiales De Construcción (Artículo científico) COYOACÁN - MEXICO. Instituto de Ingeniería, UNAM. Coordinación de Ingeniería Ambiental.

[17] MUÑOZ HORARIO (2012) ACODAL-Experiencias De Diseño, Construcción Y Operación De Plantas De Tratamiento Primario De Aguas Residuales Doméstica MEDELLIN. Diseño Y Criterios De Calculo Ingeniero Horacio Muñoz Amed Departamento De Ingeniería Sanitaria Universidad De Antioquia

[18] REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO  
BASICO RAS - 2000 SECCION II TÍTULO E TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

República de Colombia Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y  
Saneamiento Básico BOGOTA D.C.

[19] VALENCIA ADRIANA (2013) “Diseño De Un Sistema De Tratamiento Para Las Aguas  
Residuales De La Cabecera Parroquial De San Luis – Provincia De Chimborazo” (Trabajo de  
grado) ECUADOR. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Facultad de ciencias. Ingeniería  
En Biotecnología Ambiental

## 13 Anexos

### 13.1 Anexo 1. Glosario de términos y definiciones

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

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

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

**Biosólidos<sup>9</sup>.** 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.

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

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

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

**Estabilización de lodos.** Proceso que comprende los tratamientos destinados a controlar la degradación biológica, la atracción de vectores y la patogenicidad de lodos generados en las

---

<sup>9</sup> No son biosólidos las escorias y cenizas producto de la oxidación o reducción térmica de lodos, así como los residuos que se retiran de los equipos e instalaciones de la fase preliminar del tratamiento de aguas residuales, ni los provenientes de dragados o de limpieza de sumideros.

plantas de tratamiento de aguas residuales municipales acondicionándolos para su uso o disposición final.

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

**Lecho Biológico.** Sistema eficaz para la degradación de residuos de plaguicidas utilizando pulverizadores y nebulizadores que atrapan y degradan los plaguicidas hasta llevarlos a niveles de inocuidad.

**Lechos de secado.** Dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido.

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

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

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


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

**Revegetalización.** Restablecimiento de la cobertura vegetal en suelos donde ha sido restirada por factores antrópicos o naturales.

**Suelos degradados.** Son aquellos que por actividades antrópicas o por fenómenos naturales han sufrido un proceso de pérdida de material superficial, pérdida de nutrientes o pérdida de su



### 13.3 Anexo 3. Recepción de la muestra

RECEPCION DE MUESTRAS					
 <p><b>ChemiLab</b> Lover's Laboratory</p>	<b>CLIENTE:</b> ANGIE ALDANA	<b>FECHA DE RECEPCION:</b> 8/8/2017			
	<b>NIT:-</b>	<b>HORA DE RECEPCION:</b> 12:22:43			
	<b>DIRECCIÓN:-</b>	<b>MUESTREO REALIZADO POR:</b>	<b>CLIENTE</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>CHEMILAB</b> <input type="checkbox"/>	
	<b>TELÉFONO:-</b>	<b>SITIO DE MUESTREO:</b> LODO PTAP 1(CHICORAL-TOLIMA)			
	<b>SOLICITADO POR:</b> ANGIE ALDANA	<b>VENDEDOR:</b> Dannery Castro Alvarado			
<b>CORREO ELECTRONICO:</b> angiealdana93@gmail.com					
TIPO DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CODIGO DE MUESTRA EN CHEMILAB	OSI	RESPONSABLE DEL INGRESO	OBSERVACIONES
Lodos	LODO PTAP CHICORAL TOLIMA	MS50815	17279	CHRISTIAN LEONARDO NARANJO PACHON	

### 13.4 Anexo 4. Informe de resultados - Chemilab



Bogotá D.C., 26 de agosto de 2017

Señores:  
**ANGIE ALDANA**  
Att: ANGIE ALDANA  
La Ciudad.

**Asunto:** Entrega Informe de Resultados de Análisis R 33733

Cordial Saludo.

Atendiendo la solicitud de análisis enviada por ustedes, hago entrega del informe de resultados de análisis correspondiente a las muestras:

N° Muestra	Código Interno	Identificación Cliente
1	MS50815	LODO PTAP CHICORAL TOLIMA

Cualquier solicitud de aclaración del presente reporte, así como sugerencias, quejas y/o reclamaciones por favor comunicarlás a coordinación calidad comunicándose al teléfono 6702853 o al correo electrónico [calidad@chemilab.com.co](mailto:calidad@chemilab.com.co).

Agradezco su atención.

Atentamente.

**YENNI LIZBETH VARGAS SANCHEZ**  
Coordinador de Reportes



CHEMLAB S.A.S.  
Teléfono: (571) 6702853

CARRERA 21 N° 195-50, Bodega 6 y 7 B. Canaima  
BOGOTÁ D.C.



**RESULTADOS DE ANÁLISIS**  
**R 33733**

FOR 04 050, Versión 11/12/2016-07-29



Laboratorio acreditado NTC/ISO/IEC 17025  
Res. No. 2016 de 2014 y 1226 de 2016

**Empresa:** ANGIE ALDANA  
**NIT:** 1070611898  
**Dirección:** Carrera 80 G # 6-19  
**Solicitado por:** ANGIE ALDANA  
**Teléfono:** 3108702944  
**Celular:** --  
**E-mail:** angiealdana93@gmail.com  
**Orden de Servicio:** 17279

**Fecha Recepción:** 2017-08-08  
**Fecha de Emisión de Resultados:** 2017-08-26  
**Fecha de Muestreo:** 2017-08-07  
**Muestreo a Cargo de:** CLIENTE  
**Plan de muestreo:** No Reporta  
**Procedimiento de muestreo:** No Reporta  
**Número total de muestras:** 1  
**Lugar de Muestreo:** CHICORAL-TOLIMA  
**Tipo de muestreo:** Puntual  
**Tipo de Muestra:** ARI( ) ARD( ) ARnD( ) AN( )  
AP( ) AM( ) S( ) AX( X )

Reporte de Resultados							
Item	Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)	Parámetro	Método	Técnica	Límite de Cuantificación del método	Unidad	LODO PTAP CHICORAL TOLIMA MS50815
1	2017-08-11	Aluminio total*	EPA 3050 B-SM 3111 D	Digestión-AA - Llama Oxido Nitros -Acetileno	200,0	mg/kg ss	7960
2	2017-08-23	Arsénico Total*	EPA 7062-SM 3114 C	Digestión-AA - Generación de hidruros	0,5	mg/kg ss	1,83
3	2017-08-18	Cadmio Total*	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	2,0	mg/kg ss	<2,0
4	2017-08-17	Cobre Total*	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	20,0	mg/kg ss	<20,0
5	2017-08-09	Coliformes Fecales Termotolerantes*	Journal of Applied Microbiology 2004	Sustrato Enzimático Multicelda	1,0000	NMP/g ss	7270000,00
6	2017-08-25	Cromo Total*	EPA 3050 B y SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	20,0	mg/kg ss	<20,0
7	2017-08-24	Mercurio Total*	EPA 7471B, SM 3112 B	Espectrofotometría de Absorción Atómica - Vapor frío	0,2	mg/kg ss	<0,2
8	2017-08-11	Molibdeno Total*	EPA 3050 B, SM 3111 D	Digestión-AA - Llama Oxido Nitros -Acetileno	100,0	mg/kg ss	<100,0
9	2017-08-12	Niquel Total*	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	40,0	mg/kg ss	<40,0
10	2017-08-18	Plomo Total*	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	20,0	mg/kg ss	20,0
11	2017-08-19	Selenio Total*	EPA 7742 Revisión 0 Septiembre 1994 / SM 3114 C	Digestión- AA - Generación de hidruros	0,5	mg/kg ss	<0,5
12	2017-08-11	Zinc Total*	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	10,0	mg/kg ss	43,0

ARI: Agua Residual Industrial, ARD: Agua Residual Doméstica, ARnD: Agua Residual no Doméstica, AN: Agua Superficial o Subterránea, AP: Agua Potable, S: Suelo, AM: Agua Marina, AX: Otros  
\*ChemiLab tiene estos parámetros acreditados mediante resolución 2016 de 2014 y 1226 de 2016 del IDEAM.

\*\* Análisis realizados por laboratorio subcontratado acreditado

(P) PICCAP  
Parámetro no acreditado

**OBSERVACIONES ANALITICAS**  
NINGUNA

Observaciones: Métodos de Análisis aplicados según el Laboratorio de Suelos IGAC y US-EPA (aplica para suelos)  
Métodos de Análisis aplicados según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (aplica para aguas)  
**Resultados válidos únicamente para la(s) muestras analizadas.**  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin autorización previa de Chemilab S.A.S

*Yenni Lizbeth Vargas Sanchez*  
**YENNI LIZBETH VARGAS SANCHEZ**  
Coordinador de Reportes  
PQA-384

**\*\* FIN DE ESTE REPORTE \*\***