

**PROPUESTA METODOLÓGICA  
PARA TRATAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES DE  
PLANTAS DE POTABILIZACIÓN EN LA SABANA DE BOGOTÁ  
(ESTUDIO DE CASO MADRID, CUNDINAMARCA)**

**AUTOR:**

**JOSÉ NICOLAS RODRÍGUEZ TORRES**

**UNIVERSIDAD LIBRE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
BOGOTÁ D.C.  
2013**

**PROPUESTA METODOLÓGICA  
PARA TRATAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES DE  
PLANTAS DE POTABILIZACIÓN EN LA SABANA DE BOGOTÁ  
(ESTUDIO DE CASO MADRID, CUNDINAMARCA)**

**PROYECTO NÚMERO**

**695-764**

**AUTOR:**

**JOSÉ NICOLAS RODRÍGUEZ TORRES**

**PROYECTO DE GRADO  
PRESENTADO COMO PRERREQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**DIRECTOR PROYECTO  
Ing. M.Sc. ERNESTO TORRES QUINTERO**

**UNIVERSIDAD LIBRE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
BOGOTÁ D.C. – 2013**

**PROPUESTA METODOLÓGICA  
PARA TRATAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES DE  
PLANTAS DE POTABILIZACIÓN EN LA SABANA DE BOGOTÁ  
(ESTUDIO DE CASO MADRID, CUNDINAMARCA)**

**PROYECTO 695-764**

**RESUMEN**

Las actuales condiciones socio-ambientales obligan a plantear acciones que mejoren los sistemas de tratamiento de agua potable y que mitiguen sus impactos sobre el medio que las rodea. Para lo cual este proyecto ofrece una metodología que proporciona alternativas para el diseño de un sistema básico de tratamiento de lodos que incluye la información detallada de la naturaleza, cuantificación, diseño, costos de implementación y uso o disposición final de los lodos generados por las actividades de potabilización del agua y la cual es fácilmente adaptable a las necesidades de diferentes municipios con características similares a las de Madrid, Cundinamarca.

**PALABRAS CLAVES**

Agua, metodología, tratamiento, lodos, impactos, uso y disposición.

**ABSTRACT**

The current socio-environmental conditions obligate to propose actions that improve treatment systems of potable water and to mitigate its impacts on the surrounding environment. This project offers a methodology that provides alternatives for the design of a basic system of sludge treatment, including detailed information of the nature, measurement, design, implementation costs and use or final disposal of sludge generated by the activities of water potabilization and which is easily adaptable to the needs of different municipalities with similar characteristics to those of Madrid, Cundinamarca.

**KEYWORDS**

Water, methodology, treatment, sludge, impacts, use and disposal.

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Ciudad y Fecha (día/mes/año)

*A Dios Todopoderoso quien me otorga paciencia y fortaleza para cumplir todos mis sueños.*

*A mi hermana Carol Rodríguez y a mi novia Isabel C. Gómez porque gracias a su apoyo, orientación, amor y consejo hoy veo llegar a su fin una de las metas más importantes de mi vida.*

*A mi madre Silvia y mi padre Alirio porque siempre recibí de ellos ánimo y confianza para terminar satisfactoriamente mis estudios profesionales.*

*Nicolas Rodríguez Torres*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios Nuestro Señor, que me brindó la paciencia y la sabiduría para poder terminar satisfactoriamente mi carrera profesional, siendo este un motivo para desempeñarme cada día mejor como ingeniero ambiental.

A mis padres porque gracias a su cariño, guía y ayuda he llegado a culminar uno de los anhelos más grandes de mi vida, fruto del inmenso apoyo, amor y confianza que en mi depositaron y por la cual he logrado terminar mis estudios profesionales que constituyen el legado más grande que pudiera recibir y por el cual viviré eternamente agradecido.

Este proyecto no se habría podido realizar sin la amable colaboración de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid, Cundinamarca a la cual le expreso mi más sincero agradecimiento.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1 OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>1.1 OBJETIVO GENERAL</b>	<b>3</b>
<b>1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>3</b>
1.2.1 <i>Identificar los procesos de potabilización de la PTAP e indicar cuáles favorecen la generación de lodos residuales.</i>	3
1.2.2 <i>Con base en los requerimientos técnicos de la PTAP, seleccionar y diseñar un sistema de tratamiento de lodos, proponiendo alternativas para su uso o disposición final.</i>	3
1.2.3 <i>Establecer la guía metodológica para el diseño de sistemas de tratamiento de lodos en municipios de escala media de la sabana de Bogotá.</i>	3
<b>2 VARIABLES</b>	<b>4</b>
<b>3 JUSTIFICACIÓN</b>	<b>5</b>
<b>4 PROBLEMA</b>	<b>6</b>
<b>4.1 DESCRIPCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>4.2 FORMULACIÓN</b>	<b>7</b>
<b>4.3 SISTEMATIZACIÓN</b>	<b>8</b>
<b>5 DELIMITACIÓN</b>	<b>10</b>
<b>6 MARCO REFERENCIAL</b>	<b>13</b>
<b>6.1 ANTECEDENTES</b>	<b>13</b>
6.1.1 <i>Internacionales</i>	13
6.1.2 <i>Nacionales</i>	14
<b>6.2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL</b>	<b>15</b>
6.2.1 <i>Generalidades del tratamiento de potabilización del agua.</i>	15
6.2.2 <i>Origen de los lodos dentro de los sistemas de potabilización</i>	17
6.2.3 <i>Tratamiento de los lodos</i>	20
<b>6.3 MARCO NORMATIVO</b>	<b>21</b>
<b>7 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN Y GENERACIÓN DE LODOS.</b>	<b>24</b>
<b>7.1 PRIMERA FASE CAPTACIÓN</b>	<b>26</b>
7.1.1 <i>Superficial</i>	26
7.1.2 <i>Pozos Profundos</i>	29
<b>7.2 SEGUNDA FASE POTABILIZACIÓN DEL AGUA</b>	<b>30</b>
7.2.1 <i>Aireación</i>	30
7.2.2 <i>Mezcla Rápida.</i>	32
7.2.3 <i>Floculación.</i>	34
7.2.4 <i>Sedimentación.</i>	35
7.2.5 <i>Filtración.</i>	35
7.2.6 <i>Desinfección.</i>	36

7.2.7	<i>Transporte a Tanque Principal.</i>	37
7.2.8	<i>Distribución a la Red.</i>	37
<b>7.3</b>	<b>TERCERA FASE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO</b>	<b>38</b>
<b>7.4</b>	<b>CÁLCULO Y CARACTERIZACIÓN DE LODOS PRODUCIDOS</b>	<b>40</b>
7.4.1	<i>Cálculo de cantidad de lodos producidos.</i>	41
7.4.1.1	<i>Volumen de tanques sedimentadores:</i>	45
7.4.2	<i>Caracterización de lodos producidos.</i>	47
7.4.2.1	<i>Resultados de la Caracterización</i>	48
7.4.2.2	<i>Comparación de los Resultados versus Normatividad Colombiana</i>	50
<b>8</b>	<b>SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS.</b>	<b>52</b>
<b>8.1</b>	<b>SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS</b>	<b>52</b>
8.1.1	<b>Matriz Cualitativa.</b>	<b>55</b>
8.1.2	<b>Matriz de Valoración.</b>	<b>60</b>
8.1.3	<b>Selección de la alternativa de Tratamiento.</b>	<b>64</b>
<b>9</b>	<b>DISEÑO BÁSICO PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS.</b>	<b>66</b>
<b>9.1</b>	<b>DISEÑO DE EQUIPOS</b>	<b>67</b>
<b>9.1.1</b>	<b>Tanque Ecuilizador.</b>	<b>67</b>
9.1.1.1	<i>Caudal a tubo lleno (Formula de Manning):</i>	68
9.1.1.2	<i>Velocidad a tubo lleno:</i>	69
9.1.1.3	<i>Fuerza tractiva (auto limpiante) a tubo lleno:</i>	69
9.1.1.4	<i>Volumen tanque ecualizador:</i>	71
9.1.1.5	<i>Caudal de bombeo:</i>	71
<b>9.1.2</b>	<b>Dosificación de polímero orgánico.</b>	<b>72</b>
<b>9.1.3</b>	<b>Tanque espesador.</b>	<b>73</b>
9.1.3.1	<i>Área y diámetro del espesador:</i>	74
9.1.3.2	<i>Volumen del espesador y tiempo de detención:</i>	75
9.1.3.3	<i>Caudal de alimentación del espesador:</i>	76
9.1.3.4	<i>Caudal de evacuación (Filtro prensa):</i>	77
9.1.3.5	<i>Caudal de recirculación (inicio PTAP):</i>	79
<b>9.1.4</b>	<b>Filtro prensa.</b>	<b>81</b>
<b>10</b>	<b>USO FINAL DE LODOS Y COSTOS DEL SISTEMA.</b>	<b>83</b>
<b>10.1</b>	<b>USO Ó DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS</b>	<b>83</b>
<b>10.2</b>	<b>ESTIMACIÓN DE COSTOS POR IMPLEMENTACIÓN DE ALTERNATIVA.</b>	<b>92</b>
<b>11</b>	<b>GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LODOS EN MUNICIPIOS DE ESCALA MEDIA</b>	<b>94</b>
<b>11.1</b>	<b>FASE I LÍNEA BASE</b>	<b>95</b>
<b>11.2</b>	<b>FASE II CÁLCULOS Y DISEÑO</b>	<b>96</b>
<b>11.3</b>	<b>FASE III DISPOSICIÓN Y ESTIMACIÓN DE COSTOS</b>	<b>98</b>
<b>11.4</b>	<b>VENTAJAS DEL USO DE LA METODOLOGÍA</b>	<b>99</b>
<b>11.4.1</b>	<b>Factor Técnico.</b>	<b>100</b>
11.4.2.1	<i>Recirculación de agua:</i>	100
11.4.2.2	<i>Cumplimiento de normatividad:</i>	100
11.4.2.3	<i>Recuperación de coagulante:</i>	101



<b>11.4.2 Factor Económico.</b>	<b>101</b>
11.4.2.1 <i>Disminución por pago de tasas retributivas:</i>	102
11.4.2.2 <i>Evitar pagos por sanciones:</i>	103
11.4.2.3 <i>Atracción en inversión por mejoras paisajísticas:</i>	103
11.4.2.4 <i>Ahorro por los beneficios técnicos:</i>	104
11.4.2.5 <i>Ingresos por uso final de lodos producidos:</i>	104
<b>11.4.3 Factor Ambiental.</b>	<b>105</b>
11.4.3.1 <i>Mitigación sobre el impacto al Río Subachoque:</i>	105
11.4.3.2 <i>Mejoras Sociales:</i>	105
11.4.3.3 <i>Recuperación Edafológica de Suelos Erosionados:</i>	106
11.4.3.4 <i>Disposición de residuos:</i>	106
<b>12 CONCLUSIONES.</b>	<b>107</b>
<b>13 RECOMENDACIONES.</b>	<b>111</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>113</b>
<b>INFOGRAFÍA.</b>	<b>117</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 5-1</b>	<b>Mapa de Localización</b>	<b>11</b>
<b>Figura 5-2</b>	<b>Mapa Topográfico</b>	<b>12</b>
<b>Figura 6-2</b>	<b>Etapas Involucradas en el Tratamiento de los Lodos</b>	<b>20</b>
<b>Figura 7-1</b>	<b>Punto de succión río Subachoque</b>	<b>28</b>
<b>Figura 7-2</b>	<b>Pozo profundo de Agua Subterránea “Pozo 7”</b>	<b>29</b>
<b>Figura 7-3</b>	<b>Tanque de aireación</b>	<b>31</b>
<b>Figura 7-4</b>	<b>Tanque de mezcla rápida y de sulfato de aluminio</b>	<b>32</b>
<b>Figura 7-5</b>	<b>Floculador Mecánico</b>	<b>34</b>
<b>Figura 7-6</b>	<b>Sedimentador</b>	<b>35</b>
<b>Figura 7-7</b>	<b>Tanques de Filtración</b>	<b>36</b>
<b>Figura 7-8</b>	<b>Unidad de Cloración</b>	<b>36</b>
<b>Figura 7-9</b>	<b>Caseta de Bombas</b>	<b>37</b>
<b>Figura 9-1</b>	<b>Área Disponible para la Planta de Tratamiento de Lodos</b>	<b>67</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 2-1</b>	<b>VARIABLES DEL ESTUDIO</b>	<b>4</b>
<b>Tabla 7-1</b>	<b>Población Vs. Caudal Captado</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 7-2</b>	<b>Volumen de agua tratada Vs. Dosis de insumos</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 7-3</b>	<b>Volumen de agua Vs. Dosis de insumos aplicada al día</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 7-4</b>	<b>Parámetros Analizados en la E.A.A.M.E.S.P.</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 7-5</b>	<b>Cantidad Teórica de Lodos Generados según Caudal Tratado</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 7-6</b>	<b>Volumen Total Teórico de Lodos Generados</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 7-7</b>	<b>Volumen Total Experimental de Lodos Generados</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 7-8</b>	<b>Masa Total Experimental de Lodos Generados</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 7-9</b>	<b>Análisis de Resultados</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 7-10</b>	<b>Comparación de Resultados</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 8-1</b>	<b>Comparación Sistemas de Disminución del Agua</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 8-2</b>	<b>Sistemas de Deshidratación Natural y Mecánico</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 8-3</b>	<b>Matriz Cualitativa de Alternativas de Tratamiento de Lodos</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 8-4</b>	<b>Valoración de Alternativas para Selección</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 10-1</b>	<b>Alternativas para Uso o Disposición de Lodos</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 10-2</b>	<b>Ventajas y Desventajas de Las Alternativas de Disposición</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 10-3</b>	<b>Costos por Implementación de Alternativas</b>	<b>92</b>

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo A Boletín Censo General 2005**

**Anexo B Reporte Inicial Visita de Campo**

**Anexo C Datos Iniciales de Operación de la Planta**

**Anexo D Esquema Sistema de Potabilización PTAP Madrid**

**Anexo E Procedimientos de la E.A.A.A.M.**

**Anexo F Ensayo de Jarras por Caudal Tratado**

**Anexo G Cálculo de Densidad con Picnómetro**

**Anexo H Resultados Analíticos**

**Anexo I Relaciones Hidráulicas para Tuberías Parcialmente Llenas**

**Anexo J Diseños Básicos de Sistema de Tratamiento de Lodos**

**Anexo K Diagrama de Flujo Metodología**

**Anexo L Proyección por Pago de Tasas Retributivas**

**Anexo M Guía Rápida Para El Uso de la Metodología**

## INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los principales componentes de la oferta natural de nuestro país, sin embargo, el proceso de deterioro y la disminución en la calidad de las fuentes hídricas, acoplado al modelo de desarrollo imperante, comenzó a poner en riesgo la capacidad de abastecimiento de agua para consumo humano y la supervivencia de muchos ecosistemas que se tornan especialmente vulnerables ante la reducción en la calidad de la oferta hídrica.

La legislación ambiental nacional establece que las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) no deben arrojar los lodos producto de los diferentes procesos de tratamiento en los cuerpos de agua del cual se abastecen, esto debido a que la práctica común de las plantas de potabilización consistía en verter los residuos de los procesos de lavado y purga, directamente en los cauces de los ríos, afectando su calidad, niveles y generando un impacto sobre los mismos. Como ejemplo, tenemos el caso específico del río Subachoque el cual disminuye dramáticamente su calidad hídrica por realizar esta práctica y el cual es una de las fuentes de agua que abastece al municipio de Madrid, Cundinamarca.

Por estas condiciones, se consideró necesario implementar sistemas de aplicación ingenieril con el fin de dar un tratamiento adecuado encaminado a tratar de una manera eficiente los lodos de los procesos de potabilización del agua y el uso o la disposición final de estos con el fin de mitigar la contaminación de las fuentes que aguas abajo abastecen a otros municipios

y a las familias que viven en las riveras y que de ellas, en algunos casos, derivan su sustento.

La aplicación de este proyecto busco definir una metodología que se lograra acoplar a la mayoría de municipios ubicados en la sabana de Bogotá con el fin de guiar en la toma de decisiones a la hora de seleccionar el tratamiento que brinde el mejor manejo a los lodos en las plantas de tratamiento de agua potable, y de esta forma suministrar una herramienta que facilite el desarrollo de estas alternativas con el fin de dar cumplimiento a la normatividad satisfaciendo las necesidades hídricas, mejorando el entorno socio ambiental de los diferentes municipios que apliquen la metodología y teniendo en cuenta el nivel económico de los mismos.

En el presente trabajo de grado, se incluyen los pasos para seleccionar las alternativas en el diseño básico de la planta de tratamiento de lodos generados por el sistema de potabilización de agua, teniendo como caso de estudio la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid Empresa de Servicio Público (E.A.A.A.M. E.S.P), la cual sirvió como base para establecer la metodología para los municipios de características similares ubicados en la Sabana de Bogotá. Se incluyen las pautas para el uso y/o la disposición final de los lodos con el fin de incentivar un desarrollo integral de las plantas con su entorno y mitigar de manera adecuada sus impactos sobre los cauces que en la mayoría de los casos son los mismos que las abastecen.

## **1 OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Proponer una metodología que brinde soluciones de carácter técnico, económico y ambiental para el tratamiento de los lodos producto de los diferentes procesos de una planta de tratamiento de agua potable en municipios medianos, tomando como caso de estudio la del municipio de Madrid, Cundinamarca.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1.2.1** Identificar los procesos de potabilización de la PTAP e indicar cuáles favorecen la generación de lodos residuales.
- 1.2.2** Con base en los requerimientos técnicos de la PTAP, seleccionar y diseñar un sistema de tratamiento de lodos, proponiendo alternativas para su uso o disposición final.
- 1.2.3** Establecer la guía metodológica para el diseño de sistemas de tratamiento de lodos en municipios de escala media de la sabana de Bogotá.

## 2 VARIABLES

Dentro de un objeto de estudio se encuentran elementos que pueden ser atributos, propiedades o características, cambiantes dentro de la situación problemática. Pueden ser de diferentes tipos, pero siempre deben estar presentes: la variable dependiente, variables independientes e intervinientes. En la Tabla No. 2-1 se han identificado las variables independientes, la variable dependiente y la interviniente que servirán como base para la realización del proyecto.

**Tabla 2-1. Variables del Estudio.**

<b>Variable Independiente</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>Variable Interviniente</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>•Calidad de agua de la fuente.</li><li>•Cantidad de agua tratada.</li><li>•Cantidad de lodos producidos por m<sup>3</sup> de agua tratada.</li><li>•Naturaleza de los lodos producidos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Metodología técnica, económica y ambiental para el tratamiento de lodos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Normatividad vigente.</li></ul>

*Fuente: Autor*



### 3 JUSTIFICACIÓN

La práctica usual de las PTAP's que tratan las aguas por medio de los procesos de coagulación-floculación-sedimentación y filtración es eliminar los lodos acumulados en los sedimentadores y en los filtros, descargándolos directamente a los cursos de agua superficiales, sin considerar que las características físicas y químicas de estos a menudo incumplen las normas legales y afectan el recurso en el cual son vertidos.

A medida que la calidad de los recursos hídricos disminuye y que las normas ambientales se tornan más estrictas, se evidencia el escaso conocimiento técnico que poseen las entidades para mejorar sus procesos, lo que crea la necesidad de realizar investigaciones orientadas a brindar bases que incrementen el conocimiento sobre las prácticas a tener en cuenta en el desarrollo de mejoras para procesos ya establecidos que aprecien los distintos agentes involucrados.

Debido a este vacío investigativo es necesario el desarrollo de una metodología para establecer pautas a la hora de querer incluir un sistema de tratamiento de lodos en las PTAP desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. El proyecto a desarrollar se incluye en el grupo de investigación TECNO AMBIENTAL de Ingeniería de la Universidad Libre como proyecto de investigación en una PTAP, el cual destaca la importancia del recurso hídrico y las investigaciones que promuevan los temas de abastecimiento, tratamiento y gestión de aguas.

## **4 PROBLEMA**

### **4.1 DESCRIPCIÓN**

Las PTAP's son necesarias para mejorar la calidad de vida de las personas y su principal función es garantizar al consumidor un producto final que cumpla con los estándares exigidos por las normas, pero qué pasa cuando se identifica que los procesos que en ésta se llevan a cabo generan residuos que al ser vertidos en la fuente, podrían impactarla al punto de poner en peligro su uso a largo plazo.

Los lodos son residuos finales de algunos de los procesos de potabilización de agua, más concretamente de la floculación, sedimentación y filtración, de los cuales se creía que no generaban impactos ya que provenían de las aguas naturales o aguas crudas, con compuestos generalmente inorgánicos, como arcillas, arenas finas o limos, los cuales no son peligrosos para la salud y pueden ser dispuestos libremente en el suelo e incluso en los mismos cuerpos de agua.

Gracias a investigaciones como las del presente proyecto se ha logrado evidenciar que al verter estos sólidos de forma indiscriminada en las fuentes de agua, se tienden a formar depósitos de sedimentos, alterando de manera significativa los cauces, haciendo que disminuya la actividad fotosintética de las plantas acuáticas, aumentando la turbiedad, variando el color de las aguas receptoras y en general ocasionando impactos ambientales de consideración.

Por esta razón se propone desarrollar una guía metodológica para el tratamiento de los lodos provenientes de los procesos de potabilización en las PTAP's de los municipios de mediana escala de la sabana de Bogotá, los cuales no disponen de herramientas que faciliten el desarrollo de este tipo de investigaciones en sus plantas lo que solo incrementa el desconocimiento técnico y ambiental en la materia por parte de las empresas municipales que en algunos casos ignoran la importancia de tratar los lodos y lo que pueden hacer con estos.

Como en la mayoría de la problemática nacional en torno a las investigaciones se debe tener en cuenta el factor económico, el cual es de gran importancia a la hora de tomar decisiones sobre todo por los pequeños presupuestos asignados a estos temas en los municipios de escala media. Por esta razón se propuso desarrollar una propuesta teniendo en cuenta los factores económicos, técnicos y ambientales.

Para el desarrollo del proyecto, se utilizó como caso de estudio la planta de tratamiento de agua potable de la Empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo de Madrid, Cundinamarca, Empresa de Servicio Público (E.A.A.A.M. E.S.P).

## **4.2 FORMULACIÓN**

Por medio de esta investigación se pretende desarrollar una metodología que permita a los municipios medianos del área de la sabana de Bogotá determinar las alternativas o diseños más apropiados para el tratamiento de los lodos residuales de las PTAP's; tomando como base la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Madrid, Cundinamarca, con el fin de cumplir con las normas ambientales vigentes y mitigar los impactos que se puedan causar sobre los recursos naturales y de esta forma

garantizar una mejor calidad de vida para las generaciones presentes y futuras a través de un desarrollo sustentable.

Para ello se recurrió a la investigación de información secundaria sobre los aspectos característicos del área de estudio. Seguidamente se llevaron a cabo varias visitas de campo en las cuales se obtuvo información primaria (identificando de procesos, lodos), adicional se complementó la información secundaria con otra que se consultó en la gobernación de Cundinamarca, en la CAR y en la E.A.A.A.M.E.S.P.

Posteriormente toda la información obtenida en campo y en las diferentes fuentes bibliográficas se articuló, con el fin de desarrollar como producto final la propuesta metodológica que permitió evaluar técnica, económica y ambientalmente el tratamiento de lodos de diferentes plantas de tratamiento de agua potable con características similares a las de los municipios de la sabana de Bogotá para su posterior aprovechamiento y/o disposición final.

### **4.3 SISTEMATIZACIÓN**

El problema anteriormente descrito implica una serie de inconvenientes los cuales se vienen presentando en la mayoría de PTAP's y que se reflejan en un uso ineficiente del recurso agua y en el deterioro gradual del mismo. La potabilización del agua en estos municipios genera impactos que pueden poner en segundo plano la importancia del tratamiento de lodos.

Inquietudes sobre la calidad del agua potable en estos municipios hacen necesario evaluar el funcionamiento de las PTAP's. Por otra parte, si el sistema de potabilización que posee determinado municipio produce agua de buena calidad ¿Por qué debe tratar los lodos si estos no afectan aparentemente el producto final?

La mayoría de especialistas en este tema coincide en que es necesario realizar una inversión para garantizar la cobertura y el desarrollo de sistemas de potabilización de agua pero ¿Es posible obtener un beneficio económico y ambiental al tratar los lodos?

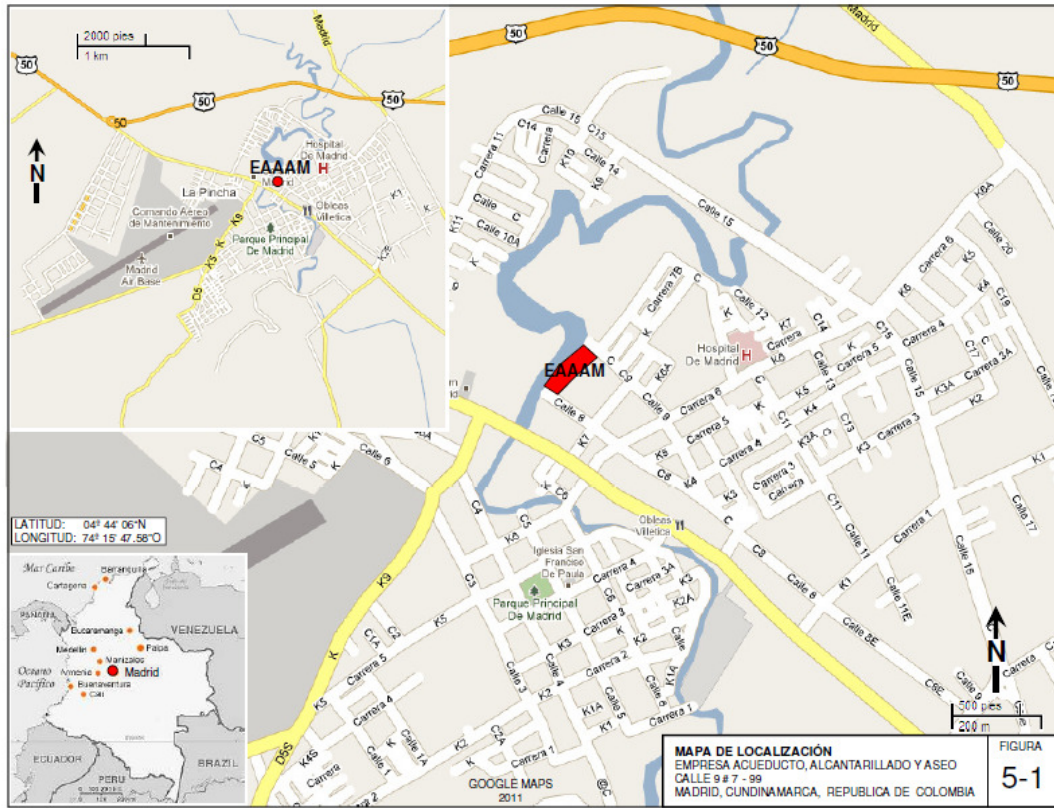
## 5 DELIMITACIÓN

Las instalaciones administrativas y operativas de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid E.S.P, se encuentran ubicadas en la cabecera municipal, localizada a los 04º 44' 06" de latitud norte y 74º 15' 47.58" de longitud oeste (**Ver figura 5-1**), a una altura de 2,550 msnm, correspondiente al piso térmico frío, temperatura media de 14 °C y una precipitación media anual de 587 mm, su topografía es de plana a ligeramente ondulada (**Ver figura 5-2**), correspondiente a la mayoría de las poblaciones de la Sabana de Bogotá; están regadas por el río Subachoque y se encuentran dentro de la cuenca del río Bogotá.

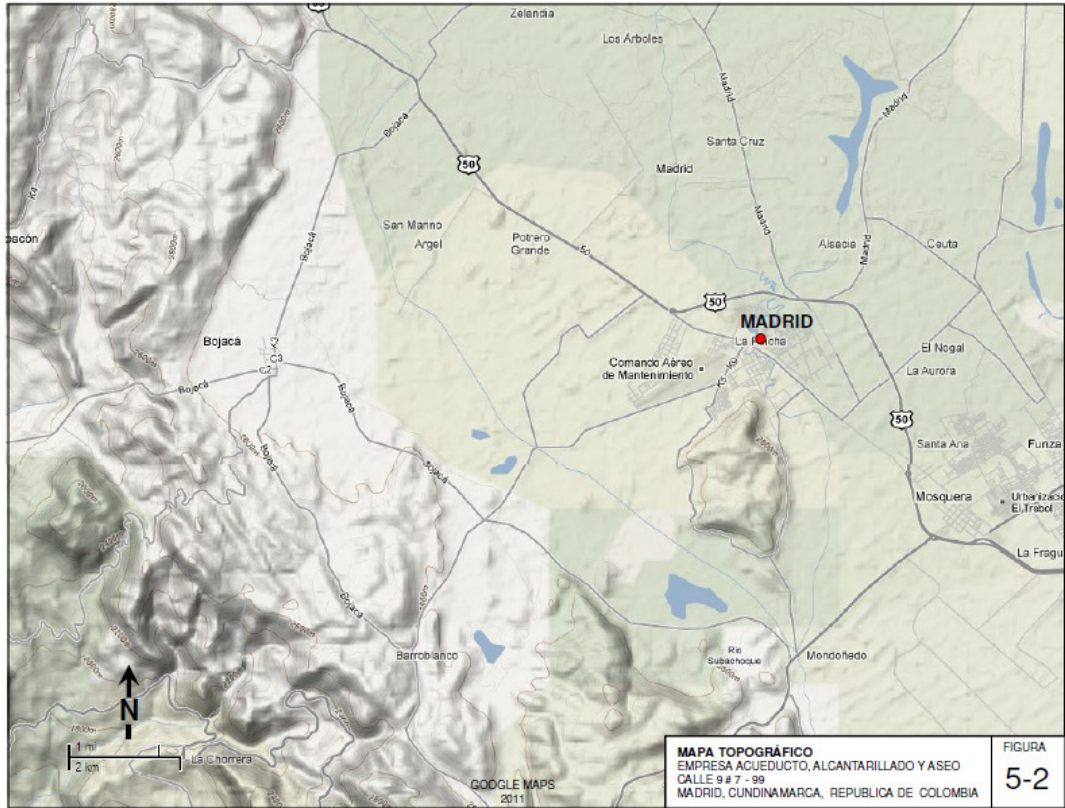
Se desarrolló una metodología aplicable a los municipios con población menor a 100,000 habitantes de la sabana de Bogotá. Tomando como planta piloto para el desarrollo del proyecto la PTAP del municipio de Madrid, el cual según el último censo del Departamento Administrativo de Estadística (DANE) posee una población de 61,599 habitantes (**Ver Anexo A**).

La temática principal del proyecto será la Gestión Integral del Recurso Hídrico y la Disposición de Residuos.

**Figura 5-1 Mapa de Localización**



**Figura 5-2 Mapa Topográfico**





## **6 MARCO REFERENCIAL**

### **6.1 ANTECEDENTES**

El tratamiento de lodos provenientes de plantas de potabilización es un tema relativamente nuevo en el campo de la investigación a nivel ambiental, ya que solo hace alrededor de dos décadas se iniciaron los primeros estudios de los efectos de los lodos residuales de las plantas producto de la potabilización del agua, en los distintos cuerpos de agua donde son dispuestos. Pese al hecho de la escasa investigación del tema, a través de los años, varios estudios han demostrado el efecto que pueden tener los lodos sobre los cuerpos de agua en que se disponen y los sistemas que los rodean.

#### **6.1.1 Internacionales**

En 2001, en Uganda un grupo de expertos japoneses estudió el efecto de la descarga del lodo obtenido de un coagulante de aluminio en el lago Victoria y encontraron anomalías en las raíces de algunas plantas y deficiencia de fósforo. Esto último se atribuyó a la presencia de aluminio, que impide la correcta asimilación de fósforo por las raíces de la planta<sup>1</sup>.

En cuanto a América Latina, México es uno de los países latinoamericanos que más ha estudiado los problemas del no tratamiento de los lodos en la potabilización del agua, demostrando con hechos la importancia del tema y brindando las pautas para que el resto de países de la zona inicien con las

---

<sup>1</sup> Kaggwa.R.C. Mulatelo.C.I., Patrick.D and Okurutu.T.O (2001) The impact of alum discharges on a natural tropical Wetland in Uganda. Water Research. Vol. 35 p.795-807

respectivas medidas para la mitigación de los posibles impactos de la acumulación de los lodos por la falta de tratamientos dentro de las cuales se destaca el hecho que los recursos para la operación de sistemas de tratamiento de lodos en las plantas potabilizadoras de América Latina son escasos, punto que es de vital importancia a tenerse en cuenta al proponer alternativas para aplicarlas en la región.

### **6.1.2 Nacionales**

En cuanto al tratamiento de lodos a nivel nacional hay un inconveniente principal, el cual es la poca información existente para guiar a las entidades que manejan estos residuos y darles bases para iniciar una planeación en torno al tema, la cual permita identificar las ventajas de aplicar este tipo de tratamientos en las plantas de agua potable. Actualmente estos lodos son dispuestos sin ningún tratamiento en represas, terrenos baldíos o en las mismas fuentes de suministro ocasionando serios inconvenientes de consideración ambiental, como es el caso de Cartagena, en donde varias zonas, debido a la sedimentación, cerraban las ciénagas impidiendo la aireación de las mismas.

Una causa para que en Colombia no existan registros sobre los sistemas de tratamiento de lodos en plantas de purificación de agua es que la mayoría de las PTAP no los poseen por la falta de recursos económicos y si se observa que aún existen muchas personas sin acceso al agua potable, es lógico pensar que solo se construyan sistemas de tratamiento con los procesos básicos de potabilización y sin tener en cuenta los sistemas para tratar los lodos.

## **6.2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

El avance tecnológico y el acelerado crecimiento demográfico, producen la alteración del medio, llegando en algunos casos a atentar contra el equilibrio biológico de la Tierra. Es necesario que el hombre proteja los recursos renovables y no renovables y que tome conciencia que el desarrollo sostenible es la práctica fundamental para establecer un equilibrio sobre la vida del planeta.

### **6.2.1 Generalidades del tratamiento de potabilización del agua.**

El tratamiento de potabilización de agua es el proceso de naturaleza físico-química y biológica, mediante el cual se elimina, una serie de sustancias y microorganismos que comunican un aspecto o cualidad organoléptica no deseables y por medio del cual se transforma en agua apta para el consumo humano. Antes de su tratamiento propiamente dicho las aguas crudas se someten generalmente a un pretratamiento que comprende un cierto número de operaciones físicas o mecánicas que tienen por objeto separar la mayor cantidad de materias que por su naturaleza o tamaño crearían problemas en los tratamientos posteriores. Las operaciones de pretratamiento son las siguientes (una estación puede incluir una o varias de estas operaciones según su importancia y la calidad del agua cruda): desbaste; desarenado; pre-decantación; desaceitado y desengrase (de aguas de superficie)<sup>2</sup>.

Las aguas naturales contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión; ambas pueden ser orgánicas e inorgánicas. Las materia en suspensión pueden tener tamaño y densidad tales que pueden eliminarse del agua por simple sedimentación, pero algunas partículas son de tamaño tan pequeño y poseen carga eléctrica superficial que las hace repelerse continuamente, impidiendo su aglomeración y formación de una partícula

---

<sup>2</sup>DEGRÉMONT. Manual técnico del agua. Cuarta Edición. España. 1979. p. 111.

más pesada que pueda sedimentarlas con una dimensión que suele estar comprendida entre 1  $\mu\text{m}$  y 0.2  $\mu\text{m}$ .

La coagulación en el proceso de tratamiento tiene por objeto agrupar estas partículas coloidales dispersas en el agua en otras más voluminosas y pesadas que pueden ser separadas más fácilmente del agua. Es así que la coagulación es la adecuación química de los sólidos en suspensión para su posterior remoción; este proceso juega un papel importante en el tratamiento para potabilización y se usa para remover turbiedad, color, bacterias, virus y algas, entre otros. En el proceso se presenta la desestabilización de las partículas por adición de sustancias químicas coagulantes requiriéndose una unidad para dosificación y mezcla rápida.<sup>3</sup>

A continuación de la etapa de coagulación continúa un segundo proceso llamado floculación, que tiene lugar tras someter a los microfloculos a una agitación lenta que permite la unión de estos en agregados mayores o floculos visibles ya a simple vista y con la suficiente cohesión y densidad para someterlos a la siguiente etapa de sedimentación. La floculación requiere un menor gradiente de agitación para impedir la rotura y disgregación de los floculos ya formados. Los floculos rotos son difíciles de retornar a su tamaño inicial.

Una vez floculada el agua, el problema radica en separar los sólidos del líquido, o sea las partículas coaguladas del medio en el cual están suspendidas. Esto se puede conseguir dejando sedimentar el agua o filtrándola, o ejecutando ambos procesos consecutivamente que es lo común. La sedimentación realiza la separación de los sólidos más densos y que tienen velocidad de caída tal que pueden llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup>ACODAL. Curso de operación y mantenimiento de plantas de potabilización Bavaria S.A. Practica N° 2: Dosis optima de coagulante. Bogotá D.C., Agosto 2004. p. 9.

<sup>4</sup>ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. 2000. p. 184

El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. En consecuencia, el trabajo que los filtros desempeñan, dependen de la mayor o menor eficiencia de los procesos preparatorios.

El término residuales se utilizaba para describir todos los residuos producto de los procesos de la potabilización, bien sean líquidos, sólidos o gaseosos<sup>5</sup>; por lo que en el pasado los lodos eran vistos como los residuos semisólidos de la potabilización del agua, pero actualmente la búsqueda de procesos más sostenibles y mejores prácticas obligan a clasificar a los residuos más como subproductos de los diferentes procesos que como residuos finales sin ningún tipo posible de uso adicional, de esta manera incentiva a buscar alternativas adicionales a las convencionales con el fin de obtener un aprovechamiento de los mismos.

### ***6.2.2 Origen de los lodos dentro de los sistemas de potabilización***

Uno de los aspectos más críticos en la operación de las plantas de potabilización es el manejo de los lodos producidos en los procesos de sedimentación y filtración, según sean provenientes de coagulación con sulfato de aluminio, o de compuestos férricos, para remoción de color o turbiedad, ya que, tanto sus características fisicoquímicas como sus volúmenes son distintos en cada caso, porque pueden también cambiar, anual, estacional o diariamente, dependiendo de las condiciones climáticas de la cuenca de donde es captada el agua para el tratamiento de potabilización.

Los lodos que se producen en los sedimentadores constituyen entre el 60% y el 70% de los sólidos totales y en los filtros entre el 30% y el 40%. Sin

---

<sup>5</sup>AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Calidad y Tratamiento del Agua. Quinta Edición, España: 2002. p. 997

embargo, en las plantas que remueven hierro y manganeso los filtros retienen la mayoría de los lodos: 50% al 90%. Los polielectrolitos tienden a reducir los volúmenes de estos lodos.<sup>6</sup> Los volúmenes pueden estimarse así: los sedimentadores producen entre el 2% y el 4% del caudal que se procesa y los filtros entre el 1% y el 2%. En total, el flujo de lodos de una planta no debe ser mayor en promedio del 5%, pero hay casos en que es mayor.<sup>7</sup>

En general, los residuos de una planta de potabilización de agua provienen de las operaciones y procesos que se describen a continuación:

#### *6.2.2.1 Sedimentación simple.*

En algunas plantas se utilizan tanques de sedimentación de agua cruda, sin coagulación previa, para remover arena fina, limos, arcillas y residuos orgánicos vegetales. Esta sedimentación, tiene lugar en los clarificadores o sedimentadores y genera un manto de lodos que retiene la mayor parte de estos materiales arrastradas por las aguas superficiales.

#### *6.2.2.2 Remoción de hierro y manganeso.*

En plantas de remoción de hierro y manganeso, los lodos están constituidos principalmente por los precipitados de hidróxido de férrico y de óxidos mangánicos. Generalmente el volumen de estos sólidos es menor que el que se obtiene de plantas convencionales de coagulación.

#### *6.2.2.3 Coagulación química.*

Los residuos de coagulación están constituidos, básicamente, por el lodo de los sedimentadores y es el que más carga genera al proceso. En la mayoría de casos el lodo está compuesto por los precipitados de aluminio o de hierro, provenientes del uso de alumbre o de sales de hierro como coagulantes, así como por el material removido, arena, limo, arcilla y polímeros o coagulantes

---

<sup>6</sup>ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. 2000. p. 705

<sup>7</sup>ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación del agua, Segunda Edición. Bogotá, p. 312

usados en la potabilización. Generalmente los lodos generados por los procesos de potabilización son estables, no se descomponen rápido o causan problemas de septicidad, debido a que la fracción orgánica del residuo arrastrada o absorbida, es mínima.

#### 6.2.2.4 *Ablandamiento por separación*

El ablandamiento con cal y soda *ash* produce un residuo de carbonato de calcio, hidróxido de magnesio y cal no reactiva. Además, en algunas plantas de ablandamiento también usan coagulación, produciendo un residuo de hidróxido de aluminio o de hierro. El lodo es producto del reactor de ablandamiento, pero también de la sedimentación de los coagulantes.

#### 6.2.2.5 Adsorción.

Generalmente en las plantas de potabilización con problemas de olores y sabores, es utilizado el carbón activado para su tratamiento, pero este contribuye a la cantidad de sólidos de que hay que disponer.

#### 6.2.2.6 Lavado de filtros.

Esta produce un agua con concentración baja en sólidos, la cantidad puede ser del orden del 2 al 6% de agua filtrada, los sólidos son aquellos retenidos durante la filtración. En plantas con aplicación de carbón activado en polvo, además se retiene el carbón activado aplicado y el material absorbido.

#### 6.2.2.7 Intercambio iónico.

En este tipo de proceso el residuo más importante lo constituye la salmuera de NaCl, calcio y magnesio, proveniente de la operación de regeneración de las resinas de ablandamiento. La salmuera puede representar entre el 3% y 10% del agua tratada.<sup>8</sup>

---

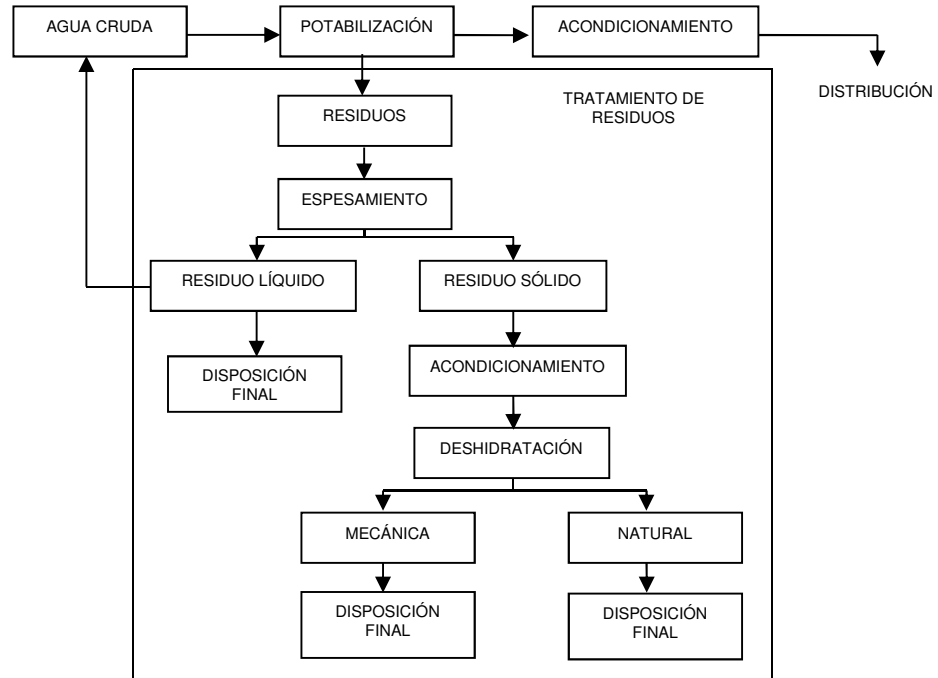
<sup>8</sup>ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación del agua, Segunda Edición. Bogotá, p. 312

### 6.2.3 Tratamiento de los lodos

El tratamiento de los residuos líquidos producidos en procesos de tratamiento de agua implica la separación del agua y de los sólidos, al nivel permitido por el método de disposición, por lo que el grado de tratamiento requerido está en función directa del método de disposición final. El tratamiento utilizado para los residuos líquidos generados en las plantas de tratamiento consiste básicamente en la reducción del porcentaje de agua contenido en ellos, haciéndolos más concentrados y minimizando por consiguiente el volumen a ser dispuesto. Cabe señalar que los lodos presentan un contenido de humedad superior al 95%.

En la Figura 6-2 se muestran las etapas involucradas en el tratamiento de los lodos en las plantas de tratamiento de agua potable.

**Figura 6-2. Etapas Involucradas en el Tratamiento de los Lodos**



Fuente: ESCOBAR RIVERA, Juan Carlos. *Gestión Integral del Manejo de Lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Potable*. ACODAL. 2004



Dentro de los métodos de tratamiento de lodos podemos encontrar tanques ecualizadores, lechos de secado, lagunas de deshidratación, deshidratación mecánica y espesamiento, entre otros, y aunque existen varios métodos de tratamiento, ninguno puede ser generalizado, ya que no existe una composición típica para los residuos. Además, la disponibilidad de recursos financieros es determinante en la selección del proceso que se adoptará para soluciones a corto, mediano y largo plazo.

### **6.3 MARCO NORMATIVO**

- ✳ **Constitución Nacional de Colombia de 1991**, en la cual se reglamentan los derechos colectivos y del ambiente; y por medio de la cual el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.
  
- ✳ **La ley 99 de 1993** por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA-, se reordena el Sector Público encargado de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encomendado de impulsar una relación de respeto y armonía del hombre con la naturaleza y de definir, en los términos de la presente ley, las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación a fin de asegurar el desarrollo sostenible.

- \* **Decreto 1594 del 26 de junio de 1984**, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - [Ley 2811 de 1974] en cuanto a usos del agua y residuos Líquidos - Y en especial el Art. 70 el cual estipula que los sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistemas o equipos de control de contaminación ambiental,... no podrán disponerse en cuerpos de agua superficial, subterránea en materia de residuos sólidos.
  
- \* **Resolución 2309 del 24 de Febrero de 1986**, en la cual se contemplan algunos lineamientos para el manejo de los residuos especiales.
  
- \* **Resolución 1096 del 17 de Noviembre de 2000**, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y saneamiento Básico – RAS."
  
- \* **Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico Ras – 2000** Sección II Título C sistemas de potabilización.
  
- \* **Decreto 475 de 1998**, por el cual se expiden Normas Técnicas de Calidad del Agua Potable.
  
- \* **Decreto 3100 de 2003**, Reglamenta las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de vertimientos puntuales.
  
- \* **Decreto 3440 de 2004**, el cual modifica el Decreto 3100 de 2003

- ✱ **Decreto 3930 de 2010**, por el cual se establecen las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.
  
- ✱ **Decreto 2667 de 2012**, Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.

## 7 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN Y GENERACIÓN DE LODOS.

Para el reconocimiento de los procesos se efectuó una visita de campo a las instalaciones de la PTAP de la E.A.A.A.M.E.S.P; en la cual se realizó una entrevista al Sr. Germán Gómez quien cuenta con 20 años de experiencia y se contó con la asesoría de la ingeniera Maria Jose Pinzón de la PTAP de Madrid y de los cuales se obtuvieron los datos aquí mencionados, el reporte inicial de la visita de campo se puede encontrar en el **(Anexo B)**.

Desde 1993 el Municipio contaba con los servicios públicos domiciliarios, administrados por Empocundi Ltda., denominada Empresa de Obras Sanitarias de Cundinamarca y en esta época se planteó la interconexión de Madrid, Funza y Mosquera por medio de la red del Acueducto de Bogotá, para suministro, al igual que la creación de las empresas municipales independientes. Posterior a esto y en cumplimiento del Decreto 77 de 1987 se originó la propuesta de la liquidación del Instituto de Fomento Municipal (INSFOPAL) vendiendo a los municipios su participación accionaria en las sociedades de acueducto y alcantarillado, lo que llevó a que en el año de 1994 el concejo municipal mediante Acuerdo 100 creara la actual Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Madrid Empresa de Servicio Público como empresa comercial e industrial del Estado con autonomía administrativa y presupuestal, la cual inició su funcionamiento a partir del primero de enero de 1997; en 1998 y mediante Acuerdo 063 se adicionó a su objeto social el servicio de Aseo, pero este solo fue asumido por la empresa hasta el primero de Julio de 1999 quedando como lo que actualmente es la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid Empresa de Servicio Público (E.A.A.A.M.E.S.P).

De acuerdo con la información suministrada por la Ingeniera Pinzón y el Sr. Gomez de la planta de Madrid, debido a diferentes eventos y cambios en el personal en la empresa de Madrid durante las diferentes administraciones no existen documentos que brinden información técnica sobre el diseño detallado y específico inicial de la PTAP, para lo cual se realizaron visitas a las entidades relacionadas con la administración y suministro de agua potable entre ellas, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Gobernación de Cundinamarca, Alcaldía Municipal de Madrid, entre otros pero no se encontró información de la PTAP, lo que limita bastante el desarrollo del proyecto sobre todo en el aspecto de diseño ya que no se cuenta con planos de la PTAP.

Sin embargo en el MADS se encontró información acerca de la densidad poblacional con la que inició operaciones la planta (**Ver Anexo C**), en colaboración del personal administrativo se recopilaban algunos datos de suma importancia tales como caudales de operación tanto inicial, actual y proyectado, los cuales se confrontaron con el número de habitantes abastecidos, información recopilada por medio de la proyección realizada por el DANE teniendo como base el Censo del 2005; para la proyección de los caudales se tuvieron en cuenta las exigencias del RAS 2000.

**Tabla 7-1 Población Vs Caudal Captado**

Proyección <sup>9</sup>	Población (Nº Habitantes)	Caudal captado (l/s) <sup>10</sup>
1997	25,314	40
2012	70,044	90
2042	106,293	185

Fuente: Autor

<sup>9</sup>[http://www.dane.gov.co/daneweb\\_V09/index.php?option=com\\_content&view=article&id=75&Itemid=72](http://www.dane.gov.co/daneweb_V09/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=72)

<sup>10</sup>LÓPEZ CUALLA, Ricardo. Elementos de Diseño para Acueducto y Alcantarillado. Segunda Edición. Bogotá, p 40-41, 56 y 63.

Para describir el proceso de la PTAP es necesario dividirla en tres fases importantes. La primera fase es la captación del agua cruda a tratar, la segunda es el procesamiento de potabilización del agua y por último el análisis físico y microbiológico que se le hace a la misma.

## **7.1 PRIMERA FASE CAPTACIÓN**

En esta etapa, se toma el agua cruda que va a ser procesada de dos fuentes:

### **7.1.1 Superficial**

Corresponde al río Subachoque, como fuente de agua cruda para el proceso de potabilización. El río Subachoque nace en el alto del Boquete a una elevación de 3,450 msnm y después de recorrer 56 km llega a la entrada del municipio de Madrid, con un área de drenaje de 376 km<sup>2</sup>, y se une, al final de su trayectoria, con el río Bojacá formando el corto río Balsillas que se desemboca en el río Bogotá.

La CAR por medio del acuerdo 58 de 1987, dividió la cuenca de río Subachoque, teniendo en cuenta su topografía y la ubicación de los sitio de aforo de la siguiente manera:

- Primera Zona: Ubicada desde los límites de la cuenca en la parte norte del nacimiento del río Subachoque en la vereda de la pradera Guamal, puente piedra a una altura de 3,450 msnm. hasta la estación N° 1 de aforo ubicada en la vereda Canica en una cota de 2,590 msnm. Esta zona está caracterizada por un cañón angosto y por ser la parte más montañosa de la cuenca.
- Segunda Zona: Ubicada desde la estación de aforos N° 1 hasta la estación la Muralla ubicada en la margen izquierda de la carretera que

conduce de Bogotá a Subachoque a la altura de la Cresta, vereda el Estanco.

- Tercera Zona: Ubicada desde la estación la Muralla hasta la entrada del río a la población de Madrid. Estas dos últimas zonas se caracterizan por estar en un valle amplio y por tener alturas menores a los 3,000 msnm.

Además de esta división de la cuenca, para el ordenamiento del Recurso Hídrico, con base en los usos actuales y potenciales del agua y de las aptitudes de las tierras en el área de las cuencas de su jurisdicción se establecieron cuatro Clases de Calidad del Agua.

La *Clase A*, con los valores más restrictivos de los usos, Consumo Humano y Doméstico con tratamiento convencional, Preservación de Flora y Fauna, uso Agrícola y uso Pecuario, se le asigna a la cuenca del río Subachoque y sus afluentes hasta el casco urbano de Madrid.

La *Clase B*, Con los valores más restrictivos para la preservación de la Fauna y Flora, uso Agrícola y uso Pecuario, se le asignó a este río desde el casco urbano de Madrid hasta su confluencia con el río Bojacá.

La *Clase C*, con los valores más restrictivos de los usos Agrícola y Pecuario, no está asignada a la cuenca del río Subachoque.

La *Clase D*, para uso agrícola restringido, Generación de Energía y uso Industrial restringido, tampoco ha sido establecida para la cuenca del río Subachoque.

La principal ventaja de esta fuente de agua cruda sobre las fuentes de agua subterráneas, es el costo de la energía por volumen extraído, además que el

bajo nivel de alcalinidad del agua extraída del río, permite nivelar la alta concentración de alcalinizantes del agua procedente de los pozos profundos que maneja la PTAP de Madrid.

El sistema de succión inició su funcionamiento en el año 2001 y contaba con dos bombas que tenían una capacidad de 30 l/s cada una, pero el caudal entregado a la planta entre las dos era de 40 l/s, porque el sistema de conducción hacia la planta no permitía un caudal mayor a éste. Actualmente, está compuesto por tres bombas cada una con capacidad para 35 l/s, éstas se encuentran acopladas a tres motores que están anclados a una balsa sujeta a un muelle que se desplaza conforme a la variación del nivel del río. El uso de esta fuente depende de la época y las condiciones climáticas, ya que durante la época de verano escasea afectando la calidad y la operación del proceso, mientras que la calidad y cantidad del agua de esta fuente superficial lo permita, el sistema de bombeo funcionará las 24 horas.

**Figura 7-1. Punto de succión río Subachoque.**



*Fuente: El Autor.*



### **7.1.2 Pozos Profundos**

Debido al alto grado de contaminación ocasionado por los vertimientos industriales y agrícolas aguas arriba de la PTAP y a prolongadas temporadas de sequía se hizo necesaria la perforación de pozos profundos que hicieran posible la captación de agua subterránea, es así como la planta llegó a contar con siete (7) pozos de los cuales solo se encuentran en funcionamiento dos el “pozo 7” que aporta 38 l/s y Lusitania “pozo 4” con 20 l/s y cuyos acuíferos pertenecen a la formación Guadalupe.

Los pozos profundos son operados a través de equipos de bombeo sumergibles que succionan el agua. Cada equipo está compuesto por una bomba y un motor cuyas características están determinadas por la profundidad, la producción, el diseño y el desarrollo de cada pozo. El caudal que se toma de cada fuente depende de la calidad de la misma y de la demanda del sistema; la decisión queda a criterio del operario de turno y bajo la supervisión de la jefatura de planta.

***Figura 7-2. Pozo profundo de Agua Subterránea “Pozo 7”.***



*Fuente: El Autor.*

En la actualidad se piensa construir un nuevo pozo muy cercano al pozo 7, ya que el mismo tuvo fallas de diseño y la tubería fue afectada por la calidad del agua que contiene altas concentraciones de hierro, lo que generó que la bomba se cayera y de esta forma se disminuyera el caudal de 60 l/s a solo 8 l/s.

Aunque es un factor que no influye en el desarrollo del proyecto y ya se mencionó con anterioridad, existe una interconexión con el acueducto de Bogotá el cual supe dependiendo la temporada los faltantes de agua para el suministro a la población, dicha agua ya viene tratada y en la PTAP de Madrid es mezclada con la tratada en el sitio y solo se le adiciona más cloro debido a que un porcentaje del mismo ya se ha perdido durante su recorrido desde de Bogotá.

## **7.2 SEGUNDA FASE POTABILIZACIÓN DEL AGUA**

La planta de tratamiento es de tipo convencional, cuenta con una unidad de aireación, dos sedimentadores y seis filtros, con una capacidad de 90 l/s. En la planta está ubicado un tanque de almacenamiento desde donde se bombea el agua potable hasta el tanque de almacenamiento principal en el Cerro Casablanca. Donde se distribuye por gravedad el agua a la comunidad.

### **7.2.1 Aireación**

Procedente de cada punto de toma, el agua cruda llega hasta el sitio de tratamiento y pasa por un sistema de aireación, el cual se realiza a través de una torre a la que llega toda el agua cruda proveniente de las diferentes fuentes, en una sola línea de aducción.

**Figura 7-3. Tanque de aireación.**



*Fuente: El Autor.*

La torre es confinada en fibra de vidrio reforzada; esta favorece la oxidación de los iones metálicos como el hierro y manganeso y la remoción de olor y color. Si la aireación es insuficiente para la remoción de olor en el agua se recurre a un proceso adicional de oxidación con peróxido de hidrógeno. Esto puede suceder especialmente cuando se emplea como fuente de agua cruda el agua del río. En este caso la jefatura de planta o el auxiliar de laboratorio determinarán la dosificación necesaria del agente oxidante. Por modificaciones de operación de la planta, la adición del polímero como agente de coagulación, se adiciona después del peróxido, que ayuda a la formación del floc.

Anteriormente el equipo de aireación era de tipo bandejas múltiples con tres módulos y por cada uno de ellos descendía el agua cruda proveniente de la fuente de captación, el motivo que dio lugar al cambio de equipo se debió a la mala disposición del mismo porque estaba ubicado encima de los sedimentadores, generando contaminación en el agua tratada dentro de los

mismos; previo a este equipo existía un aireador de cascada y vertederos con flujo descendente, que se retiró por su baja capacidad para oxidar los metales presentes en el agua

### **7.2.2 Mezcla Rápida.**

En esta etapa se agrega el sulfato de aluminio, como agente de coagulación y por acción de lo que en la PTAP identifican como un resalto hidráulico se genera turbulencia favoreciendo la dilución del coagulante.

**Figura 7-4. Tanque de mezcla rápida y adición de sulfato de aluminio.**



*Fuente: El Autor.*

La cantidad y clase de agentes coagulantes que deben ser adicionados al proceso se determinan de acuerdo con los resultados arrojados por el ensayo de jarras, en la siguiente tabla se observa la cantidad de agente coagulante usado mensualmente, correspondiente al volumen total de agua tratada, en el año 2011.

**Tabla 7-2. Volumen de agua tratada Vs. Dosis de insumos.**

<b>MES</b>	<b>Volumen de Agua tratada (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cantidad de Polímero (kg.)</b>	<b>Cantidad de Sulfato (kg.)</b>
Enero	219,926	2,165	1,028
Febrero	147,459	1,646	24
Marzo	170,065	1,121	694
Abril	209,597	1,460	3,672
Mayo	227,025	1,544	3,885
Junio	208,856	1,556	1,417
Julio	203,069	1,487	0
Agosto	223,711	1,335	0
Septiembre	200,221	2,387	2,594.88
Octubre	217,527	2,227	2,978
Noviembre	219,871	2,242	2,988
Diciembre	218,565	1,832	2,137
<b>TOTAL</b>	<b>2'465,891</b>	<b>21,001</b>	<b>21,418</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>205,491</b>	<b>1,750</b>	<b>1,785</b>

*Fuente: Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid.*

En la tabla se observa que la dosis de sulfato es nula en los meses de Julio y Agosto debido a que el agua a tratar se capta únicamente de los pozos y en esta fuente la cantidad de sólidos en suspensión que contiene no es apreciable, por tanto no hay necesidad de usar este insumo; además, durante esta época el nivel del río disminuye considerablemente debido a que es un periodo de sequía y la captación se hace difícil para los equipos que realizan este proceso.

Caso contrario sucede cuando hay periodos lluviosos (Abril, Mayo, Octubre y Noviembre), y el nivel del río asciende, pues el agua a tratar, proviene de esta fuente que contiene una notable cantidad de sólidos en suspensión los cuales es necesario retirar durante el proceso de potabilización, por esta razón la cantidad de sulfato adicionada al proceso es mayor respecto a otras épocas del año.

De la misma forma se tienen datos acerca del promedio de insumos usados en las etapas de coagulación – floculación, según el caudal tratado de agua.

**Tabla 7-3. Volumen de agua Vs. Dosis de insumos aplicada al día.**

CAUDAL DE AGUA TRATADA		DOSIS DE INSUMOS (kg/d)	
l/s	m <sup>3</sup> /d	Sulfato de Aluminio	Polihidroxicloruro de Aluminio
57	4,942	0	43
80	6,912	99	57
86	7,430	150	75
90	7,776	128	64
96	8,294	134	66
98	8,467	149	70

*Fuente: Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid.*

En el menor caudal tratado de agua no hay una adición de sulfato al proceso, debido a que solo se está captando agua de los pozos y por tanto la incorporación de este insumo no se hace necesaria.

### **7.2.3 Floculación.**

La floculación o mezcla lenta se realiza mediante dos floculadores mecánicos rotatorios de paletas de eje vertical cuya velocidad de giro es de 8 rpm.

**Figura 7-5. Floculador Mecánico.**



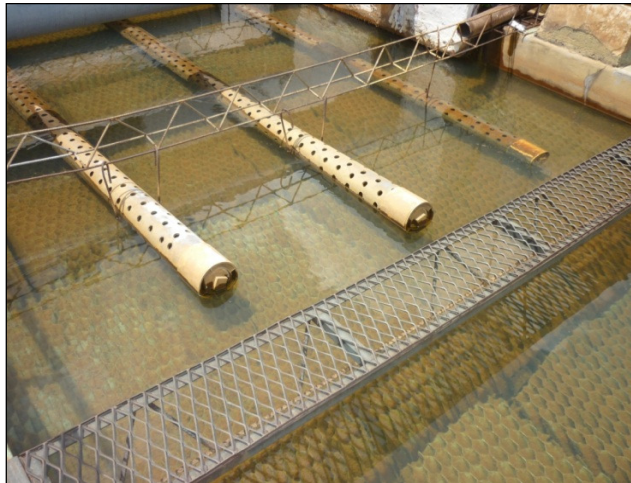
*Fuente: El Autor.*



#### **7.2.4 Sedimentación.**

Allí el floc formado se precipita al fondo de los tanques de sedimentación cuyo volumen es de 142 m<sup>3</sup>, con un tiempo de retención de 30 min, adicionalmente en la superficie de los sedimentadores, se encuentran unos módulos de sedimentación en forma de colmena con un ángulo de inclinación de 60° que ayudan en la retención del floc y se encuentran sobrenadantes; estos módulos fueron colocados en el año de 1998, con el fin de aumentar la capacidad de trabajo de los sedimentadores. A la salida del sedimentador existen tres tubos en forma de flauta que recolectan el agua clarificada los cuales disminuyen el arrastre del floc y dirigen el agua hacia los filtros.

**Figura 7-6. Sedimentador.**



*Fuente: El Autor.*

#### **7.2.5 Filtración.**

Esta operación, cuenta con cinco filtros rectangulares, que están formados con capas de grava, arena y antracita, de los cuales tres están operando desde la construcción de la planta y los restantes se adicionaron en vista del aumento de la capacidad que produjo la colocación de los módulos en los

sedimentadores. En esta etapa es donde ocurre la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa.

**Figura 7-7. Tanques de Filtración.**



Fuente: El Autor.

### **7.2.6 Desinfección.**

Es la última fase en el tratamiento del agua y tiene como objetivo garantizar la calidad de la misma desde el punto de vista microbiológico asegurando que sea inocua para la salud del consumidor. En la planta de desinfecta el agua adicionando cloro gaseoso, teniendo en cuenta los parámetros de la CAR, cada litro de agua debe tener un miligramo de cloro. Con esto se logra eliminar los microorganismos patógenos existentes, que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo.

**Figura 7-8. Unidad de Cloración.**



Fuente: El Autor.



### **7.2.7 Transporte a Tanque Principal.**

Una vez tratada el agua se almacena en los tanques de la planta principal luego es transportada hacia un tanque ubicado en el cerro de la Hacienda Casablanca por medio de una bomba que cuenta con una potencia de 200 HP, y desde allí por gravedad se facilita la distribución del agua a toda la población del municipio de Madrid, un esquema del sistema de potabilización de la PTAT de Madrid es incluido en el **Anexo D**.

**Figura 7-9. Caseta de Bombas.**



*Fuente: El Autor.*

### **7.2.8 Distribución a la Red.**

Desde el tanque Casablanca, salen dos líneas de distribución de 8 y 14 pulgadas respectivamente. A la salida de cada tubería se encuentra instalada una válvula reguladora de presión (VRP) donde la cantidad de agua impulsada depende del nivel que se registre en el tanque, que se conoce en planta a través de la transmisión de datos vía módem desde el tanque, hasta la planta. La visualización de los datos en pantalla depende del estado de la línea de transmisión y del correcto manejo del programa en el computador de la planta. La transmisión se origina gracias a un sensor de nivel, que comunica el valor de la variable a un módem que transmite la señal a otro

igual puesto en planta. El módem emisor registra hora a hora los valores de caudal y presión adecuados para la distribución del agua.

### **7.3 TERCERA FASE ANÁLISIS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO**

Para el desarrollo de esta fase se tiene en cuenta la ayuda de un asistente de laboratorio quien es el encargado de la toma y análisis de muestras en las respectivas cajas de muestreo que se encuentran distribuidas por todo el municipio de Madrid. El operador de la planta toma muestras en cada parte del proceso del tratamiento del agua donde se analizan variables como:

**Tabla 7-4. Parámetros Analizados en la E.A.A.A.M.E.S.P.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Turbiedad	Es la medida de claridad de un líquido, causada por las partículas suspendidas en él; está definida por la medida de dispersar la luz a través de una muestra. Se usan índices como FTU, NTU
Fotómetro (color, cloro, hierro, manganeso, nitritos)	Instrumento que mide el brillo o la magnitud aparente de un objeto, mediante la detección de los fotones emitidos dependiendo del objeto a medir
Alcalinidad	La capacidad de un agua para neutralizar ácidos cediendo iones OH <sup>-</sup>
pH	El agua, aparte de moléculas de H <sub>2</sub> O, tiene iones libres de Hidrógeno. Ese conjunto de iones tiene un peso, ése peso define el valor de pH. Esos iones libres de Hidrógeno pueden ser negativos de radical hidroxilo (aniones) o positivos de Hidrógeno (cationes). Los cationes determinarán la acidez. Su peso en gramos por cada litro de agua nos dará el valor de acidez. El agua neutra está igualada en

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
	peso de aniones y cationes
Dureza	Se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (iones de calcio, estroncio, y magnesio en forma de carbonatos y bicarbonatos) y se expresa en equivalentes de bicarbonato de calcio, constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua. Esta cantidad de sales afecta la capacidad de formación de espuma de detergentes en contacto con agua y representa una serie de problemas de incrustación en equipo industrial y doméstico, además de resultar nociva para el consumo humano
Sulfatos	Están asociados a la dureza del agua en su calidad de permanente y producen en los consumidores una notoria acción catártica, especialmente en presencia de sodio y magnesio
Conductividad	Es una expresión numérica de la capacidad de una solución acuosa para conducir corriente eléctrica, depende de la presencia de iones, su concentración total, la movilidad, la valencia, las concentraciones relativas y la temperatura de medición
Oxígeno Disuelto (OD)	El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno que esta disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuan contaminada se encuentra el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. La cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
	Temperatura.
Fosfatos	Las masas de agua con altos niveles de fosfatos generalmente tienen niveles altos de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) debido a las bacterias que consumen los desechos orgánicos de las plantas y posteriormente a los niveles bajos de OD.
Mesófilos	Dentro de este grupo se encuentran la mayoría de los microorganismos contaminantes de los productos farmacéuticos, alimenticios, cosméticos y los microorganismos patógenos para el hombre.
Coliformes totales y E. Coli	Designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.

*Fuente: E.A.A.A.M.*

Estos análisis se realizan con el fin de entregar a la población servida, un agua potable con las características requeridas por la normatividad colombiana para destinarse como consumo humano.

#### **7.4 CÁLCULO Y CARACTERIZACIÓN DE LODOS PRODUCIDOS**

Teniendo en cuenta lo descrito en el numeral 6.2.2 sobre el origen de los lodos dentro del proceso de potabilización conocemos de manera general las etapas críticas dentro de la PTAP que generan lodos residuales.

#### **7.4.1 Cálculo de cantidad de lodos producidos.**

A continuación se calculan las cantidades de lodos producidos por los procesos de la PTAP; con base en cálculos teóricos, experimentales y las mediciones realizadas en las visitas de campo; y las cantidades de caudal tratado en la planta.

Teóricamente durante el tratamiento de potabilización del agua se puede decir que:

- El Proceso de sedimentación produce entre el 2% y el 4% de lodos de la cantidad de caudal que procesa;
- Los lodos de lavado de filtros, entre el 1% y el 2% del caudal procesado; y
- Que el total, del flujo de lodos no debe ser mayor en promedio al 5%.<sup>11</sup>

**Tabla 7-5. Cantidad Teórica de Lodos Generados según Caudal Tratado.**

Caudal de agua tratada		Volumen Teórico de lodos producido	
l/s	m <sup>3</sup> /d	Sedimentadores (4%)	Lavado de filtros (2%)
57	4,942	198	99
80	6,912	277	138
86	7,430	297	149
90	7,776	310	155
96	8,294	332	166
98	8,467	338	169

*Fuente: El Autor.*

De esta forma obtenemos los valores teóricos de producción de lodos.

<sup>11</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. ACUIPURIFICACIÓN: Diseño y Sistemas de Purificación de Aguas. Segunda Edición. Bogotá D.C. p. 294.

**Tabla 7-6. Volumen Total Teórico de Lodos Generados.**

Q Agua tratada m <sup>3</sup> /d	Volumen de lodos m <sup>3</sup> /d	Proporción (%)	Proporción teórica de caudal tratado (5%)
4,942	297	6	247
6,912	415	6	346
7,430	446	6	372
7,776	465	6	389
8,294	498	6	415
8,467	507	6	423

Fuente: El Autor.

Con el fin de determinar valores relacionados con las condiciones reales del sitio y por sugerencia del personal asesor de la E.A.A.A.M. se utilizaron los valores de los ensayos de jarras, los cuales funcionaron como simuladores del proceso general y brindaron valores experimentales más aproximados a los valores reales. Para este punto se aclara que los ensayos fueron realizados por un operario de la PTAP con insumos y materiales de la misma por lo cual se siguieron los procedimientos de los protocolos establecidos por la planta (**Ver Anexo E**).

El fin del ensayo de jarras es determinar la dosis óptima de coagulante, según las características del agua, razón por la cual se escogió la jarra con el resultado más óptimo y la cual es la base para realizar los cálculos de cuantificación.

Para la realización de los ensayos se aclara que la jarra posee un área transversal de 12 cm x 12 cm y se encuentra aforada; el ensayo guía que mostró el resultado más óptimo, indicó un espesor de 0.3 mm de lodos y 13.4 cm de agua. Con base en estos valores se calculó el volumen ocupado por el lodo.

$$V = 12\text{cm} * 12\text{cm} * 13.4\text{cm} = 1929.6\text{ cm}^3 * \left(\frac{1\text{m}^3}{1 * 10^6\text{cm}^3}\right)$$

$$V = 1.9 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

El volumen de lodos en la jarra es:

$$V = 12\text{cm} * 12\text{cm} * 0.03\text{ cm} = 43.2\text{ cm}^3 * \left(\frac{1\text{m}^3}{1 * 10^6\text{cm}^3}\right)$$

$$V = 4.3 \times 10^{-6} \text{m}^3$$

Teniendo en cuenta lo anterior y el caudal promedio de 86 l/s o diario de 7,430 m<sup>3</sup>/d, obtenemos el volumen de lodos diarios generados por el proceso.

$$V = \frac{4.3 \times 10^{-6} \text{m}^3 \text{ lodo}}{1.9 \times 10^{-3} \text{m}^3 \text{H}_2\text{O}} * 7430 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \text{H}_2\text{O} = 17 \text{ m}^3/\text{d}$$

Debido a que la PTAP utiliza varias fuentes de agua cruda, no se puede establecer un promedio de producción mensual, razón por la cual se realizaron varios ensayos de jarras teniendo en cuenta la variable del caudal tratado, dichos ensayos se realizaron en el laboratorio de la E.A.A.A.M. (**Ver Anexo F**), para de esta manera obtener los espesores de lodos generados por cada caudal tratado.

**Tabla 7-7. Volumen Total Experimental de Lodos Generados.**

Caudal de agua tratada		Espesor de la capa de lodo	Volumen de lodos en la jarra	Volumen de la jarra	Volumen diario de lodos	Proporción
l/s	m <sup>3</sup> /d	mm	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	%
57	4,942	2	2.9 x 10 <sup>-6</sup>	1.9 x 10 <sup>-3</sup>	8	0.15
80	6,912	3	4.3 x 10 <sup>-6</sup>	1.7 x 10 <sup>-3</sup>	17	0.25
86	7,430	3	4.3 x 10 <sup>-6</sup>	1.9 x 10 <sup>-3</sup>	17	0.22
90	7,776	3	4.3 x 10 <sup>-6</sup>	1.9 x 10 <sup>-3</sup>	17	0.22
96	8,294	4	5.8 x 10 <sup>-6</sup>	1.9 x 10 <sup>-3</sup>	24	0.29
98	8,467	5	7.2 x 10 <sup>-6</sup>	2.0 x 10 <sup>-3</sup>	31	0.37

Fuente: El Autor.

Conocido el volumen de lodo producido, se puede calcular el peso del mismo teniendo en cuenta su densidad, la cual varía dependiendo el caudal de agua tratada. Estas densidades fueron calculadas mediante pruebas de laboratorio de la E.A.A.A.M. a través de un picnómetro (**Ver Anexo G**). La densidad promedio de los lodos contenidos para un caudal de 7,430 m<sup>3</sup>/d, es de 1,038 kg/m<sup>3</sup>, teniendo este valor podemos calcular la masa de los lodos, así:

$$m = 17 \frac{m^3}{d} * 1,038 \frac{kg}{m^3} = 17,646 \frac{kg}{d}$$

$$m = 17,646 \frac{kg}{d} * 30 \frac{d}{mes} * \frac{1 t}{1000 kg}$$

$$m = 529 \frac{t}{mes}$$



A continuación se muestran las cantidades de lodos generados a diario y mensualmente teniendo en cuenta la densidad promedio.

**Tabla 7-8. Masa Total Experimental de Lodos Generados.**

Q Agua tratada	Volumen de lodos	Densidad	Masa de lodos diaria	Masa de lodos mensual
m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /d	kg/ m <sup>3</sup>	kg/d	t/mes
4,942	8	1,034	8,272	248
6,912	17	1,034	17,578	527
7,430	17	1,038	17,646	529
7,776	17	1,035	17,595	528
8,294	24	1,034	24,816	745
8,467	31	1,040	32,240	967

Fuente: El Autor.

Por recomendación del Ingeniero Ricardo Vega y teniendo en cuenta las características de la PTAP utilizada como caso piloto, se incluyó el cálculo de las cantidades de lodos con base en el volumen de producción de lodos de los tanques sedimentadores, por medio de la siguiente operación:

#### 7.4.1.1 Volumen de tanques sedimentadores:

Los actuales sedimentadores de la PTAP de Madrid son en forma de tronco de pirámide por lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = \frac{h}{3} (A + A' + \sqrt{A * A'})$$

Dónde:

h: Altura (m), Se utiliza la altura útil de los sedimentadores

A: Área de la base mayor (m<sup>2</sup>)

A': Área de la base menor (m<sup>2</sup>)

Se procede con el cálculo de las áreas de la base mayor y la base menor.

$$A = L * L$$

$$A = 13.9 \text{ m} * 4.7 \text{ m} = 65 \text{ m}^2$$

$$A' = 13.9 \text{ m} * 3.9 \text{ m} = 54 \text{ m}^2$$

Teniendo las áreas reemplazamos los valores en la ecuación de volumen.

$$V = \frac{1.5 \text{ m}}{3} \left( 65 \text{ m}^2 + 54 \text{ m}^2 + \sqrt{65 \text{ m}^2 * 54 \text{ m}^2} \right)$$

$$V = 89 \text{ m}^3$$

De esta manera obtenemos la producción real de lodos por sedimentador y teniendo en cuenta que el operario realiza la limpieza de los sedimentadores cada 12 días aproximadamente, por lo cual se calcula una producción diaria de:

$$V = 89 \text{ m}^3 * 2 = 178 \text{ m}^3$$

$$Q_{Lodos} = \frac{V}{t}$$

$$Q_{Lodos} = \frac{178 \text{ m}^3}{12 \text{ d}} = 15 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Al comparar los volúmenes reales calculados en el sitio con los valores experimentales del ensayo de jarras se logra evidenciar que los volúmenes experimentales son 0.8 veces mayores, razón por la cual se utilizan estos valores para los cálculos del diseño con el fin de obtener un

sobredimensionamiento en las estructuras que permita manejar los lodos de una mejor manera.

Para lo anterior se debe aclarar que no es posible realizar el cálculo de la producción de lodos en torno a los filtros de la PTAP, ya que las tuberías de purga de estos se encuentran conectadas directamente a la red de aguas residuales del sitio, por indicaciones del personal de la PTAP no se tiene en cuenta la producción de lodos en los filtros ya que en comparación con la de los sedimentadores no es significativa.

#### ***7.4.2 Caracterización de lodos producidos.***

Las características de los lodos residuales varían generalmente con la calidad del agua cruda tratada, origen, tecnología de tratamiento, tipo y cantidad de elementos químicos empleados, de forma tal que es difícil establecer una composición definitiva para estos; razón por la cual una caracterización de acuerdo con la naturaleza fisicoquímica y microbiológica se hace de suma importancia con el fin de poder establecer los métodos y equipos más apropiados para su tratamiento.

Para el caso específico y puntual de la PTAP de la E.A.A.M. en el año 2006, por interés propio de la gerencia de la planta se realizó el muestreo de lodos y la correspondiente caracterización de los mismos. El muestreo y análisis fue realizado por un laboratorio externo debidamente certificado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM).

Aprovechando esto y teniendo en cuenta los recursos tan limitados que posee el sitio en materia de investigación, se omitió la toma de nuevas

muestras del lodo y se procedió a realizar los cálculos en torno a estos resultados analíticos (**Ver Anexo H**).

#### 7.4.2.1 Resultados de la Caracterización

Para llevar a cabo dichos análisis, se eligió el punto de salida de lodo de purgas con el fin de establecer una caracterización, aun cuando este no sea constante teniendo en cuenta las características fluctuantes del agua, las cuales varían de acuerdo a los diversos factores.

La *tabla 7-9* muestra los resultados de las muestras tomadas en los diferentes puntos.

**Tabla 7-9. Análisis de Resultados.**

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO	REFERENCIA	LODO
ALCALINIDAD	mg/l	Titulométrico H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	SM 2320 B	0.30
CLORUROS	mg/l	Titulométrico AgNO <sub>3</sub>	SM 4500-Cr B	35
FOSFORO	mg/l	Colorimétrico	SM 4500-P D	0.32
NITRÓGENO	mg/l	Titulométrico H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	SM 4500-N <sub>org</sub> B	3.4
SULFATOS	mg/l	Turbidimétrico	SM 4500-P D	3.0
HIERRO	mg/l	Absorción Atómica de llama	SM 3500-Fe B	0.4
MANGANESO	mg/l	Absorción Atómica de llama	SM 3500-Mn B	0.3
POTASIO	mg/l	Absorción Atómica de llama	SM 3500-K B	11
SODIO	mg/l	Absorción Atómica de llama	SM 3500-Na B	79
ZINC	mg/l	Absorción Atómica de llama	SM 3500-Zn B	0.01
HUMEDAD	%	Gravimétrico	--	97.3
SÓLIDOS TOTALES	%	Gravimétrico (Secado a 105 <sup>o</sup> )	--	2.7
MATERIA ORGÁNICA	%	Calcinación	--	24.8

Fuente: El Autor

**Tabla 7-10. Comparación de Resultados.**

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA CRUDA	AGUA TRATADA	LODO
DQO	mg/l	13	0.56	290.4
DBO <sub>5</sub>	mg/l	1.32	0.79	3.98
Sólidos (SST)	mg/ l	215.8	<1	1320
Turbiedad	UNT	2.4	1.4	440
Cloruros	mg/l	43.51	50.01	35
Alcalinidad	mg/l	126.62	105.04	0.30
Hierro	mg/l	1.61	0.08	0.4
Nitritos	mg/l	0.08	0.00	0.36
Sulfatos	mg/l	7.52	18.41	3.0
Fósforo	mg/l	0.04	0.00	0.32
Manganeso	mg/l	0.01	0.00	0.3
Potasio	mg/l	10.20	0.00	11
Zinc	mg/l	0.02	0.00	0.01
Aluminio	mg/l	0.10	0.17	28

Fuente: El Autor

Con respecto a la comparación se observa que:

- Existe un incremento notable en cuanto a las concentraciones de los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO, Sólidos totales y Aluminio. Esto evidencia un proceso adecuado para llevar a cabo la potabilización del agua.
- La relación DBO<sub>5</sub>/DQO permite conocer la biodegradabilidad del lodo, entre más bajo sea su valor, menor es la posibilidad que la sustancia sea biodegradable; para este caso la relación entre los dos parámetros es <2, lo que quiere decir que el residuo no posee posibilidades de biodegradarse, aunque con un acondicionamiento químico puede llegar a ser útil como abono en la recuperación de suelos<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup><http://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/30/30673/tema5analisisdeaguas.pdf>

- Con relación a los sólidos totales se evidencia un incremento significativo de la concentración de este parámetro en los lodos. Debido a que este compuesto es acumulativo y se manejaron una gran cantidad de sólidos removidos durante un largo periodo de tiempo.
- El aumento de la concentración de Sulfatos en el agua tratada se debe a la adición del Sulfato de Aluminio como agente coagulante, y por esto los iones quedan disueltos en el agua.
- La concentración del ion Aluminio es bastante alta en los lodos, esto se debe a que el ion Aluminio que viene presente en el agente coagulante, se queda disuelto en el lodo, parámetro que se debe tener en cuenta al momento de sugerir una disposición del lodo como elemento para la recuperación de suelos, pues el Aluminio es un agente generador de erosión.
- El aumento de la concentración de fósforo en los lodos se debe a que el agua cruda tiene un pequeño contenido de fertilizantes y al realizar el proceso de potabilización estos son eliminados y sus trazas quedan en los lodos.

#### *7.4.2.2 Comparación de los Resultados versus Normatividad Colombiana*

La normatividad en Colombia, es muy superficial en cuanto al manejo de los lodos, ya que no tiene establecidos unos parámetros de comparación para el manejo de los lodos procedentes del tratamiento del agua para consumo, sin embargo en el decreto 3930 de Octubre de 2010 el Art. 25 indica "**Actividades No Permitidas.** No se permite el desarrollo de las siguientes actividades.... 3. Disponer en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, y sistemas de alcantarillado, los sedimentos, **lodos**, y sustancias sólidas

*provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de control ambiental y otras tales como cenizas, cachaza y bagazo. Para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos". Sin embargo este no establece los valores estándares para identificar los valores permisibles.*

La resolución 2309 del 24 de Febrero de 1986 del Ministerio de Salud, indica un listado de los residuos especiales en el cual incluye a los lodos, sin embargo ofrece unos valores comparativos que se utilizaron para comprobar si este tipo de material (lodo) presenta características que lo hagan especial, de acuerdo a los resultados, el lodo no puede ser considerado un residuo especial, pues no sobrepasa los límites establecidos en esta Resolución. Aun cuando la norma no contempla todos los análisis realizados al lodo, se puede asegurar que este residuo no es considerado de carácter especial o peligroso, puesto que los resultados permiten evidenciar que solo posee valores traza de cada uno de los metales pesados que se manejan en el proceso de potabilización, lo que facilita su manejo y disposición final. Cabe aclarar que el Decreto 4741 de 2005, no identifica los lodos producto de sistemas de potabilización como residuos peligrosos.

## **8 SELECCIÓN DEL SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS.**

La solución al impacto ambiental que se genera debido a la acumulación del lodo, consiste en evitar su abandono en el medio, ya sea de una forma controlada o evitando su generación. La primera alternativa, se basa en gestionar adecuadamente los lodos formados a través de un tratamiento diseñado de manera tal que garantice la máxima recuperación y la reutilización de estos en el mismo proceso o como insumo para otros procesos.

No obstante la segunda alternativa ofrecería la solución óptima para mitigar los problemas ambientales causados por los lodos, ya que disminuyendo su generación, se facilitaría la disposición, sin embargo en el papel todo proceso posee unas entradas y unas salidas y en este caso y por medio de la transformación de un material se obtiene un sub-producto que actualmente es catalogado como un residuo, pero el cual tiene un gran potencial de aprovechamiento.

### **8.1 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS**

La selección del proceso de tratamiento, uso y disposición de los lodos es una tarea que posee un grado de complejidad, debido a que las condiciones pueden cambiar dependiendo la instalación, al punto que pueden variar dentro de la misma instalación. La selección de uno o más procesos está influenciada por la necesidad de cumplir con la reglamentación ambiental y la necesidad de contribuir a la preservación del medio ambiente a un bajo costo.



Según Arundel, los factores que deben estar incluidos en las decisiones de los procesos de tratamiento de lodos comprenden<sup>13</sup>:

- Calidad del lodo;
- Adecuación a las condiciones existentes del proceso de potabilización;
- Flexibilidad del proceso;
- Capacidad de la instalación;
- Costos (mantenimiento, operación y construcción);
- Compatibilidad ambiental; y
- Calidad del material procesado.

Debido al alto contenido de humedad del lodo se deben realizar procesos de deshidratación, en la siguiente tabla Hernández compara algunas características de los sistemas de deshidratación para orientar la selección de la alternativa.

**Tabla 8-1. Comparación Sistemas de Disminución del Agua.**

Procedimiento	Base Teórica	Procesos unitarios	Contenido final de agua %	Grado de eliminación
Deshidratación	Gravedad (campos gravitatorios naturales) y fuerzas térmicas (evaporación)	Lechos de secado	70 – 60	Medio
			50 – 30	Fácil
			85 – 75	Difícil
		Lagunas de fangos	< 50	Medio permanencia muy larga
			50	Fácil
			85 – 80	Difícil
	Procedimientos estáticos	Filtro banda	65 - 60	Medio
			60 - 50	Fácil
			85 – 80	Difícil
	Generación de sobrepresión o depresión	Filtración de vacío	80 – 70	Medio

<sup>13</sup> ARUNDEL, John. Tratamiento de Aguas Negras y Efluentes Industriales. 2 ed. España. Gamma 2002. p. 133.

Procedimiento	Base Teórica	Procesos unitarios	Contenido final de agua %	Grado de eliminación
	Procedimientos dinámicos: campos gravitatorio artificiales	Centrifugas	80 – 70	Medio
			70 – 50	Fácil
			85 – 80	Difícil
Secado	Fuerzas térmicas	Secadores	10 – 20	Fácil (Costoso)
		Eras de secado	20 – 30	Fácil pero solo en zonas cálidas y áridas
Espesado	Gravedad	Espesado continuo o discontinuo	90 – 85	Medio
			75	Fácil
			99 – 97	Difícil

Fuente: HERNÁNDEZ MUÑOZ Aurelio. Depuración de Aguas Pág. 888

Con base en las características mostradas en la tabla anterior, y la revisión bibliográfica realizada para el proyecto, se realiza una comparación general entre los sistemas de secado natural y los de secado mecánico para el tratamiento de lodos.

**Tabla 8-2. Sistemas de Deshidratación Natural y Mecánico.**

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>SISTEMAS DE SECADO NATURAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos costo de implementación (siempre que se disponga del área suficiente a bajo precio);</li> <li>• Bajo consumo de energía y de productos químicos;</li> <li>• Baja sensibilidad a las variaciones cuantitativas y cualitativas del lodo;</li> <li>• Simplicidad de operación; y</li> <li>• Apropriados para plantas pequeñas y aisladas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altas exigencias de superficie;</li> <li>• Alta dependencia de las condiciones climáticas; y</li> <li>• Alto requerimiento de mano de obra para la remoción del lodo.</li> </ul>

	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>SISTEMAS DE DESHIDRATACIÓN MECÁNICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesitan áreas menores;</li> <li>• Independencia de las condiciones meteorológicas;</li> <li>• Minimización de ciertos impactos ambientales; y</li> <li>• Mayor eficiencia en menos tiempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor consumo de energía;</li> <li>• Necesidad de utilizar acondicionadores químicos adecuados;</li> <li>• Alta sensibilidad a las variaciones cuantitativas y cualitativas del lodo;</li> <li>• Necesidad de un lavado frecuente de las telas filtrantes y otros equipos en contacto directo con el lodo;</li> <li>• Eventuales problemas de ruido; y</li> <li>• Vibraciones excesivas provocadas por el funcionamiento de bombas y motores.</li> </ul>

Fuente: El Autor

### **8.1.1 Matriz Cualitativa.**

La *tabla 8-3* presenta una matriz cualitativa que permite comparar las alternativas de manejo; teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Ventajas y desventajas: a nivel de proceso, costo y seguridad ambiental;
- Aplicabilidad: Alta, significa que es muy posible; Media significa que es posible pero que hay que tener en cuenta ciertos factores para poder aplicarla y Nula, significa que no es posible por lo cual es descartada de antemano; y
- Viable: una alternativa puede ser muy buena a nivel ambiental pero posiblemente no se adecue a las necesidades de la empresa o sea demasiado costosa para ser considerada rentable.

**Tabla 8-3. Matriz Cualitativa de Alternativas de Tratamiento de Lodos.**

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICABILIDAD	VIABLE
<b>ESPESAMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce el tamaño de material a ser dispuesto lo que permite obtener un lodo con mayor consistencia;</li> <li>• Produce un lodo más concentrado, ayudando a equalizar el lodo para su posterior deshidratación y facilitar el proceso de deshidratación, dependiendo la disposición, puede facilitar el transporte para la aplicación en el terreno; y</li> <li>• Se usan no solo para incrementar la concentración del lodo, sino que también mejora la calidad del agua clarificada en el efluente del tanque espesador, permitiendo la descarga de esta a una fuente receptora, previo cumplimiento de las normas o su recirculación al inicio del tratamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deben adicionarse polímeros para incrementar el tamaño de la partícula, reducir los sólidos en el agua de lavado retenida y condicionar los hidróxidos de aluminio y hierro de tal forma que se aumente la velocidad de sedimentación;</li> <li>• No es recomendada para plantas pequeñas debido a que no es costo eficiente;</li> <li>• Debe controlarse el tiempo para obtener un grado determinado de espesamiento, debido a que el uso de polímeros tiene un efecto mínimo sobre el grado de compresión de los lodos; y</li> <li>• Deben controlarse las altas concentraciones de hidróxido de magnesio debido a que este reduce el secado en los lodos, lo que genera disminución de la densidad del lodo de secado.</li> </ul>	<p><b>Media</b></p> <p>Debido a que se necesitan insumos adicionales para la PTAP (polímeros) y de un operario adicional que controle la dosificación y uso de dichos insumos para el espesamiento.</p>	SI
<b>FILTRACIÓN A VACÍO O PRESIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es efectiva para el secado de lodos provenientes del ablandamiento del agua;</li> <li>• Logra secar los lodos provenientes de los procesos de coagulación – floculación;</li> <li>• Puede usarse cuando las</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Siendo un sistema que basa su trabajo en la presión, preocupa el hecho que la máxima presión diferencial que puede aplicarse, es la teórica, 14.7 psi (103 KPa) y lastimosamente en la práctica solo alcanza una presión diferencial de</li> </ul>	<p><b>Media</b></p> <p>Aunque se debe realizar un acondicionamiento previo del lodo, es un método</p>	SI

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICABILIDAD	VIABLE
	<p>características del lodo son difíciles de manejar ya que puede mantener los sólidos bajo presión por extensos periodos de tiempo lo que permite regular los tiempos con el fin de obtener una consistencia deseada;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Logra producir una torta del lodo dentro de un rango de concentración de sólidos del 15% al 25%, como mínimo; y</li> <li>• Se puede operar a altas presiones con el fin de producir una mayor concentración de sólidos, lo que produce una torta de entre 30% al 45% de concentración, que es una de las concentraciones más altas de lodos que se puede generar entre los equipos de deshidratación mecánica.</li> </ul>	<p>aproximadamente 10 psi (70 KPa);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe controlar la concentración del hidróxido de magnesio, proveniente de los lodos de ablandamiento;</li> <li>• Se debe mantener un control sobre el lienzo del filtro debido a que está sometido a una presión;</li> <li>• Se debe realizar un acondicionamiento previo del material a tratar; y</li> <li>• El operador debe estar capacitado, ya que debe manejar variables que afectan el funcionamiento tales como el tipo de lodo, tensión, velocidad, entre otros.</li> </ul>	<p>altamente eficiente y altamente aplicable a los lodos producto de procesos de ablandamiento.</p>	
<b>CENTRIFUGACIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El espesamiento de lodos de aluminio produce una concentración de sólidos del 11% después de un ciclo de 40 minutos;</li> <li>• Pueden concentrarse los residuos del retrolavado del filtro produciendo un 6% de sólidos en 20 minutos sin polímero y un 10 % de sólidos en 80 minutos con polímero; y</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un sistema que trabaja a baja presión;</li> <li>• Debe realizarse un control sobre los porcentajes de remoción de magnesio y los tiempos para llevarse a cabo;</li> <li>• El uso de centrifugas en plantas potabilizadoras ha sido limitado, en particular, al secado de lodos químicos del proceso de ablandamiento. Su</li> </ul>	<p><b>Baja</b></p> <p>Debido a que no es muy recomendado en los sistemas que realizan ablandamiento y a que se requiere de personal extra para</p>	<p>NO</p>

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICABILIDAD	VIABLE
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las recuperaciones alcanzadas deben acercarse al 90% sin polímeros y al 99% con 0.5 a 1.0 kg de polímeros por tonelada de residuos sólidos.</li> </ul>	<p>uso con lodos de alúmina ha resultado en concentraciones de 17 a 18%, lo cual es inferior al 20% requerido para poder transportar lodos por medios mecánicos; y</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Alto consumo de energía.</li> </ul>	su operación.	
<b>ECUALIZADOR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permite que el tratamiento de lodos sea un proceso continuo, recibiendo todos los desagües de la planta en un mismo punto;</li> <li>Razón por la cual mantiene no solo cargas sino también flujos constantes;</li> <li>Permite retornar el agua clarificada al proceso, permitiendo una reutilización de la misma; y</li> <li>Reduce el impacto por la alteración hidráulica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debido a que su función es la de almacenar los desagües de la planta, puede generar problemas con vectores; y</li> <li>Aunque es un sistema económico se necesita espacio para su construcción y operación.</li> </ul>	<p><b>Media</b></p> <p>Debido a los problemas de impacto por vectores.</p>	SI
<b>LECHOS DE SECADO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debe adaptarse con arena de bajo drenado, grava y tuberías perforadas. Pueden trabajar por gravedad o al vacío;</li> <li>Varios lechos secadores de arena son utilizados en un mismo lugar, lo que ofrece algunas ventajas desde un punto de vista de operación de mantenimiento; y</li> <li>Capacidad de rotar el uso de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El uso de la camas de secado está limitada por el clima pero los rangos pueden variar de 1 a 20 por año, esta tasas de utilización puede incrementarse con el uso de polímeros;</li> <li>El almacenamiento de los lodos debe programarse para periodos en los cuales se faciliten las condiciones climáticas para el secado, dado</li> </ul>	<p><b>Nula</b></p> <p>Aunque se adapta a las condiciones actuales de operación del proceso no es viable debido a que el factor climático es</p>	NO

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICABILIDAD	VIABLE
	<p>los lechos, de forma que cuando un lecho de secado este cargado y los residuos comiencen a secarse, otro lecho este limpio y listo para una nueva aplicación de residuos.</p>	<p>que si estas no son favorables pueden afectar una efectiva operación de secado;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El número de veces que las camas pueden ser usadas depende del tiempo de secado y el tiempo requerido para remover los sólidos y preparar las camas para su siguiente aplicación; y</li> <li>• El diseño y construcción es muy específico del lugar debiendo considerarse condiciones tales como la topografía, suelo disponible y restricciones de operación.</li> </ul>	<p>definitivo para la aplicación de este tratamiento a los lodos y el área libre asignada al proceso es pequeña.</p>	
<p><b>LAGUNAS DE DESHIDRATACIÓN</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operan a cargas iniciales mayores que los lechos de secado, además, tiene mayor tiempo de secado entre limpieza de igual forma están equipados con una estructura decantadora y de drenaje inferior; y</li> <li>• Utilizan una tasa de carga mayor, el volumen drenado es un porcentaje del volumen total aplicado que generalmente sería menor que el del lecho.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La dificultad principal para fijar el tamaño de este sistema es predecir la concentración de sólidos drenados después de completada la carga; y</li> <li>• Durante la fase de operación las capas inferiores no secan</li> </ul>	<p><b>Nula</b></p> <p>Porque la eficiencia de este método es baja y además requiere de grandes áreas para su manutención.</p>	<p>NO</p>

Fuente: El Autor.

### **8.1.2 Matriz de Valoración.**

La selección de la alternativa que mejor se adapte a las condiciones del sitio se efectúa mediante una matriz de valoración *Ver tabla 8-4*, teniendo en cuenta los factores que se consideran de mayor importancia para tomar una decisión acerca de la utilización más adecuada para el residuo. Los factores y su ponderación se describen a continuación:

- **Costos.** Es un factor importante, debido a que la empresa debe disponer del recurso económico necesario para implementar alguna alternativa de tratamiento del residuo que se está generando. Este factor está ponderado con un cuatro (4) debido a que la alternativa seleccionada puede ser económica en su instalación, pero tal vez, en operación y mantenimiento sea muy costosa;
- **Aprovechamiento del residuo.** Factor que evalúa el grado de utilización del residuo para obtener el producto, lo que se traduce en el rendimiento del proceso en cada aplicación. Este factor tiene un valor ponderado de tres (3) pues el máximo aprovechamiento del residuo significa menor producción de residuos en el proceso (Motivo principal de este proyecto), sin ser esto un limitante para el desarrollo del mismo;
- **Factor socio-ambiental.** Este factor evalúa a grandes rasgos el impacto socio-ambiental que representaría la alternativa al ser implementada. Este factor tiene un valor de ponderación de dos (2), ya que no es un obstáculo para el desarrollo de una alternativa, debido a que existen suficientes opciones para lograr una producción limpia, sin tener en cuenta que el manejo de los lodos trae junto consigo impactos positivos para dicho factor.



- **Significancia del volumen de producción a partir del residuo.** Factor que evalúa que tan significativo es el volumen de producto obtenido a partir del residuo para darle una reutilización a nivel industrial o ambiental. Este factor está ponderado uno (1) pues aunque no es un limitante para la alternativa no es motivante poner en marcha procesos para obtener niveles de producción tan bajos que no compensen, ni una mínima parte de la inversión.

La calificación cuantitativa de los factores de costos e impacto socio-ambiental es negativa para la sumatoria en la matriz de valoración y para los factores de aprovechamiento del residuo y significancia del volumen es positiva en la sumatoria de la matriz de valoración, para la calificación de los factores se emplearon los siguientes niveles:

- El valor 3 como un nivel “Alto”
- El valor 2 como un nivel “Medio”
- El valor 1 como un nivel “Bajo”
- El valor 0 como un nivel “Nulo”

A continuación se presenta la Tabla 8-4 de valoración de alternativas según su ponderación y calificación, la cual solo se realizó para aquellas alternativas que son viables en la PTAP de la E.A.A.A.M.E.S.P, con base en las características de la planta se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 8-4. Valoración de Alternativas para selección**

PONDERACIÓN	FACTORES				TOTAL
	1	2	3	4	
ALTERNATIVA	Significancia del volumen	Socio-Ambiental	Aprovechamiento del residuo	Costos	
Espesamiento	3	1	3	1	6
Centrifugación	3	1	2	3	-5
Filtro prensa	3	1	3	2	2
Filtro vacío	2	1	2	2	-2
Ecuador	3	1	3	2	2

Fuente: El Autor

Como ejemplo para explicar el uso de la matriz de valoración se utiliza la alternativa del espesamiento, en el primer factor la significancia con un valor de ponderación de 1 y una calificación de 3 con lo cual se obtiene un valor total de 3; el factor socio ambiental con un factor de ponderación de 2 y calificación de 1, para un total de 2; el aprovechamiento del residuo con una ponderación de 3 y una calificación de 3, para un total de 9 y por último los costos con un factor de ponderación de 4 y una calificación de 1, para un total de 4. Se procede a realizar el cálculo, teniendo en cuenta que los factores de significancia y aprovechamiento son positivos y los de impacto y costos son negativos, nuestro calculo sería así:

$$TOTAL = ((1 * 3) - (2 * 1) + (3 * 3)) - (4 * 1)$$

$$TOTAL = (3 - 2 + 9 - 4)$$

$$TOTAL = 6$$

Para la calificación en la tabla de valoración se tuvieron en cuenta las tablas 8-1 de comparación de sistemas de disminución de agua, la tabla 8-2 de sistemas de deshidratación natural y mecánica; y la tabla 8-3 de la matriz cualitativa de alternativas de tratamiento de lodos.

A continuación se indican las razones por las cuales se establecieron las calificaciones para la PTAP de Madrid:

En cuanto a la calificación de la alternativa de espesamiento obtuvo una calificación de 1 en costos debido a que genera un material en menor tamaño con mayor consistencia lo que se traduce en menores costos de operación, una calificación de 3 en el aprovechamiento del residuo ya que lo reduce y debido a la caracterización del lodo que indica un porcentaje de humedad del 97% el cual según la tabla 8-1 es uno de los pocos sistemas que maneja ese grado de concentración, hace que la alternativa se adapte al espacio destinado para esta actividad en la PTAP de Madrid.

La centrifugación obtuvo una calificación de costos de 3 es decir alta, debido a su alto consumo de energía para la operación, en el aprovechamiento del residuo se calificó con un 2 debido a que según la tabla 8-3 su uso con lodos de alúmina brinda resultados con concentraciones de entre 17 a 18%, lo cual es inferior al 20% requerido para poder transportar lodos por medios mecánicos, esto obligaría a diseñar más conexiones y disponer de mayor espacio para las mismas lo que incurriría en mayores gastos, en cuanto a la significancia se calificó con un 3, ya que genera una cantidad significativa de lodos pero se debe aclarar que sus concentraciones son bajas, por lo que se tendría un mayor volumen de residuos pero los cuales no son aptos para el uso final.

La alternativa del filtro prensa recibió una calificación en costos de dos, es un equipo que venden completo, el cual tiene garantía e incluye un periodo de mantenimiento, su operación requiere de un operario, sin embargo puede capacitarse a uno de los actuales operarios para que desarrolle la actividad en ciertos periodos de tiempo, el aprovechamiento del residuo se calificó con un 3, ya que el sistema trabaja con lodos con un porcentaje de humedad de hasta el 85% y por parte del factor de significancia se calificó con 3, debido a que el sistema trabaja a presión lo que puede garantizar un porcentaje mayor en la concentración de lodos. Lo que garantizaría un aumento en el porcentaje de agua separada de los lodos para uso final.

El filtro de vacío obtiene en su calificación del factor costos un valor de 2 es decir media, ya que adicional a su compra, se requieren adecuaciones con obras civiles, lo cual incurre en mayores gastos, el aprovechamiento del residuo tiene una calificación de 2 ya que depende de un sistema previo que acondicione el lodo y maneja unos porcentajes de agua muy bajos para el establecido en la PTAP de Madrid, en cuanto a la significancia se calificó con un dos ya que al obtener concentraciones tan bajas de lodos se obtendría una mayor volumen de residuos no aptos para el uso final.

Todos los sistemas recibieron una calificación en el factor socio ambiental de 1 es decir bajo, debido a que los impactos al ambiente o la población generados por estos son mínimos y por el contrario lo que se obtiene al implementar cualquiera de ellos son ventajas que beneficiaran el ambiente y a la población que rodea el sitio.

### **8.1.3 Selección de la alternativa de Tratamiento.**

Basado en los puntajes obtenidos por medio de la *tabla 8-4*, se identificaron las alternativas más adecuadas para el tratamiento de los lodos residuales en la PTAP, dichos tratamientos son en su orden de mayor puntaje a menor; el espesamiento de lodos, la filtración del lodo a través de un filtro prensa, la equalización de los lodos, el uso de centrifuga y por último la filtración por medio de un filtro de vacío. Cabe aclarar que se puede hacer uso de uno o varios tratamientos con el fin de obtener los mejores resultados en la torta de lodo que se desea establecer desde el marco del diseño del tratamiento.

Los principales criterios a tener en cuenta para la selección de las alternativas en la PTAP de Madrid, son el porcentaje de humedad de los lodos, el uso de sulfato de aluminio como coagulante en el proceso de potabilización y aunque el espacio considerado para la ubicación del sistema tiene un área adecuada también es un factor a tener en cuenta ya que la

PTAP tiene un espacio limitado, razón por la cual las lagunas de deshidratación y los lechos de secado fueron descartados como opciones para el tratamiento de los lodos.

Teniendo en cuenta lo anterior se seleccionaron para el sitio tres alternativas de los cinco sistemas propuestos, esto con el fin de optimizar los resultados en el producto final y contemplando que ninguna de las alternativas garantizaba lodos con un porcentaje final de humedad menor al 60%, razón por la cual se tomara como tratamiento inicial un tanque ecualizador que permita homogenizar el lodo de purga proveniente de los tanques sedimentadores y de los filtros del sistema de potabilización, una vez se obtenga un lodo con una humedad homogénea se requerirá de un tratamiento que permita realizar un acondicionamiento previo y que tolere un flujo continuo de lodos, lo que garantizara resultados más pronto de lo esperado, para dicha labor se diseñara un espesador, el cual es ideal para los lodos con un alto contenido de humedad, brindando una muy buena alternativa para la disminución de esta espesando y deshidratando, lo que es de gran importancia, debido a las características del lodo, para finalmente acondicionar el lodo con el fin de realizar el ultimo tratamiento la filtración por medio de un filtro prensa.

## **9 DISEÑO BÁSICO PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS.**

En esta etapa de desarrollo del proyecto se incluye la propuesta para el tratamiento de los lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid E.S.P; ésta consiste en el acondicionamiento del lodo para lo cual se realizará el diseño de un tanque ecualizador, seguido de un tanque espesador y la deshidratación en un filtro prensa, como la mejor alternativa de tratamiento teniendo en cuenta su facilidad de acople en la planta de Madrid. Por último se plantea una recomendación para llevar a cabo el uso o la disposición del lodo, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos de la Empresa.

Para el desarrollo de este proyecto se tuvo en cuenta la producción de lodo de los sedimentadores, es importante saber que esta producción no es continua ni constante, pues depende de la composición, origen del agua cruda y del coagulante aplicado.

De acuerdo a la literatura consultada y teniendo en cuenta los requerimientos propios de la PTAP, se determinó que las mejores alternativas de tratamiento inicial para estos lodos sería un tanque ecualizador, seguido del espesamiento por gravedad y la deshidratación en filtro prensa, con el fin de separar el lodo del agua para que esta última pueda ser retornada al inicio del proceso (recirculación del agua).

Es así que con base en el valor del mayor caudal de purgas de lodos (estimado en 31 m<sup>3</sup>/d), se procedió a realizar el diseño del tanque ecualizador, del espesador de lodos y del filtro prensa, ajustándolos a las necesidades propias de la Planta; con el espesador se buscó reducir el

volumen de los lodos para obtener así un lodo más concentrado y de esta forma facilitar el proceso de deshidratación.

En las instalaciones de la E.A.A.A.M., se cuenta con un área disponible de 117 m<sup>2</sup>, en donde actualmente se estacionan los vehículos destinados al mantenimiento y revisión de la red de alcantarillado del municipio. Este espacio se encuentra ubicado en la parte posterior del predio donde se encuentra ubicada la empresa.

***Figura 9-1. Área Disponible para la Planta de Tratamiento de Lodos.***



*Fuente: El Autor.*

## **9.1 DISEÑO DE EQUIPOS**

Una vez conocido el volumen de lodos producidos a diario en la planta, se procede a diseñar los equipos de tratamiento previamente seleccionados.

### **9.1.1 Tanque Ecuilizador.**

La ecualización del flujo es una opción atractiva para mejorar el rendimiento de la planta ya que tiene por objeto recibir el agua proveniente de los desagües y almacenarla para poder extraer de ahí el caudal continuo con que se alimentará el espesador.

Hay que recordar que los desagües no se llevan a cabo de manera constante sino cada vez que se lava un filtro o que se abre una de las válvulas de lavado de los sedimentadores, de manera que se requiere un tanque grande para manejar dichos caudales variables, en que el nivel del agua pueda subir y bajar según las necesidades y desde ahí ser enviado por bombeo continuo al espesador.

Cuando se conoce la programación de lavado de los sedimentadores y apertura de la válvula, es fácil calcular el volumen del tanque ecualizador, de acuerdo con el balance de masas. De lo contrario, puede asumirse la hipótesis de que su capacidad debe ser, como mínimo, la suficiente para almacenar el volumen de líquido del sedimentador, más el agua utilizada para lavar las paredes de dicho sedimentador, sin rebosarse.<sup>14</sup>

Luego se evalúan las condiciones hidráulicas de la línea proyectada para el caudal de operación, 31 m<sup>3</sup>/d que es el volumen máximo calculado de lodo arrojado del proceso de lavado del sedimentador teniendo el caudal máximo, con una pendiente de 1.0% para facilitar el arrastre de los sedimentos que se puedan presentar.

Teniendo como base el caudal medio de purga el cual se encuentra estimado en 17 m<sup>3</sup>/d, se propone que dicho caudal de purgas ya no sea enviado directamente hacia el río Subachoque (como sucede en la actualidad), sino que sea dirigido hacia el tanque ecualizador por una tubería de entrada de 10 pulgadas de diámetro con la purga de lodos.

#### 9.1.1.1 Caudal a tubo lleno (Formula de Manning)<sup>15</sup>:

$$Q_{LL} = \left(\frac{1}{n}\right) * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

---

<sup>14</sup>ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Ibit Pág. 294

<sup>15</sup>ADDISON Herbert y MANTERO José, Tratado de hidráulica aplicada. 3ª Edición, 1959. 219 p.



Dónde:

$Q_{LL}$ : Caudal a tubo lleno ( $m^3/s$ )

$\varnothing$ : Diámetro tubería = 10" = 0.254 (m)

A: área de la tubería = 0.0506 ( $m^2$ )

n: rugosidad de la tubería (gres) = 0.013

R: radio hidráulico =  $\varnothing/4$  = 0.0635 (m)

S: Pendiente = 1% = 0.01 (m/m)

$$Q_{LL} = \left( \frac{1}{0.013} \right) * 0.0506m^2 * 0.0635^{2/3}m * 0.01^{1/2}$$

$$Q_{LL} = 0.062 m^3/s$$

9.1.1.2 *Velocidad a tubo lleno*<sup>16</sup>:

$$v_{LL} = \frac{Q_{LL}}{A}$$

Dónde:

$V_{LL}$ : Velocidad a tubo lleno (m/s)

$Q_{LL}$ : Caudal a tubo lleno ( $m^3/s$ )

A: área de la tubería ( $m^2$ )

$$v_{LL} = \frac{0.062 m^3/s}{0.0506m^2}$$

$$v_{LL} = 1.225 m/s$$

9.1.1.3 *Fuerza tractiva (auto limpiante) a tubo lleno:*

$$\tau_{LL} = \gamma * S * R$$

---

<sup>16</sup> ADDISON Herbert y MANTERO José, Ibit, 219 p.

Dónde:

$\tau_{LL}$ : Fuerza tractiva a tubo lleno ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

$\gamma$ : Peso específico del agua ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

S: Pendiente = 0.01 (m/m)

R: radio hidráulico = 0.0635 (m)

$$\tau_{LL} = 1,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.01 * 0.0635\text{m}$$

$$\tau_{LL} = 0.635 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Relación

$$\frac{Q_{real}}{Q_{LL}} = \frac{31 \text{ m}^3/d \left( \frac{1 \text{ d}}{86,400\text{s}} \right)}{0.062 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$\frac{Q_{real}}{Q_{LL}} = 0.006$$

Para este valor se tienen las siguientes relaciones hidráulicas para tuberías parcialmente llenas (**Ver Anexo I**).

$$\frac{v_{real}}{v_{LL}} = 0.468 \Rightarrow v_{real} = 0.468 * v_{LL} = 0.468 * 1.225 \text{ m/s} = 0.57 \text{ m/s}$$

$$\frac{d_{real}}{D_{LL}} = 0.186 \Rightarrow d_{real} = 0.186 * D_{LL} = 0.186 * 0.254 \text{ m} = 0.047\text{m}$$

$$\frac{\tau_{real}}{\tau_{LL}} = 0.452 \Rightarrow \tau_{real} = 0.452 * \tau_{LL} = 0.452 * 0.635 \text{ kg}/\text{m}^2 = 0.29 \text{ kg}/\text{m}^2$$

#### 9.1.1.4 Volumen tanque ecualizador:

El tanque ecualizador deberá tener como mínimo 0.5 veces el volumen de lodos líquidos generados por la planta en el proceso de desagües de los sedimentadores, de esta forma el volumen del tanque ecualizador, que se dispondrá para la planta en la E.A.A.M., será:

$$V_{Ec} = \frac{1}{2} V_{LL}$$

En donde:

$V_{Ec}$ : Volumen del tanque ecualizador

$V_{LL}$ : Volumen de lodos líquidos

$$V_{Ec} = \frac{1}{2} * 31m^3 = 16 m^3$$

Las principales características del tanque son:

- Tubería en la parte superior para recirculación del agua;
- Profundidad periférica = 1.5 m;
- Profundidad en el centro = 2.0 m;
- Largo = 4 m; y
- Ancho = 3 m.

El volumen será apropiado debido a que el tanque recibirá la descarga de los sistemas de la planta, lo que incluye las dos evacuaciones del transporte del lodo sedimentado en el tanque hacia el espesador y del rebose del agua clarificada. El diseño básico se observa en el **Anexo J**.

#### 9.1.1.5 Caudal de bombeo:

El flujo promedio de los lodos es de:

$$Q_{bombeo} = 31 \frac{m^3}{d} * \frac{1d}{86,400 s} = 0.00036 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{bombeo} = 0.00036 \frac{m^3}{s} * \frac{1,000 l}{1m^3} = 0.36 \frac{l}{s}$$

Ó:

$$Q_{\text{bombeo}} = 0.00036 \frac{m^3}{s} * \frac{60s}{1 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 1.29 \frac{m^3}{h}$$

Se reitera que este caudal es el que sería bombeado en el caso que la planta se encontrara trabajando con su caudal máximo de agua a tratar, lo cual debido a las actuales condiciones climáticas es poco probable razón por la cual la empresa abastece al municipio de Madrid con un porcentaje de agua suministrada por el Acueducto de Bogotá.

### **9.1.2 Dosificación de polímero orgánico.**

Los polímeros son usados extensamente en el acondicionamiento de los lodos y existe una gran variedad en el mercado. Estos materiales difieren grandemente en su composición química, efectividad funcional y costo efectivo. Las razones para el uso de polímeros en lugar de químicos inorgánicos acondicionadores son consideradas a continuación:

- Mejora la eficiencia en el desagüe;
- Produce una cantidad menor de masa adicional, ya que los acondicionadores inorgánicos generalmente aumentan la masa del lodo de 15 a 30%;
- Los polímeros no reducen el valor de combustible, esto en el caso que el lodo final vaya a ser usado como combustible para incinerador;
- El polímero permite una operación de manejo de materiales más limpia; y
- El polímero reduce los problemas operacionales y de mantenimiento.

La selección del polímero apropiado requiere ser consultada con un proveedor y requiere de revisiones periódicas, esto debido a las variaciones continuas en las condiciones del polímero y del agua<sup>17</sup>.

Teniendo en cuenta lo anterior se ofrece una alternativa para la inyección del polímero la cual puede ser modificada acorde a las necesidades del sistema y las especificaciones del proveedor. Se recomienda el uso de polímero catiónico el cual posee diferentes grados de carga lo que contribuye con el proceso de formación del floc en el espesamiento debido a que las partículas de lodo llevan una carga negativa y los polímeros llevan una carga positiva, lo que facilita la atracción de las partículas.

Para la mezcla del polímero con el lodo se instalara un tanque para transferirlo en la línea de conducción desde el tanque de homogenización (equalización) hacia el cono espesador a través de una tubería en P.V.C de  $\frac{3}{4}$  de pulgada en la descarga de la bomba de transferencia de lodo garantizando así la mezcla de lodo con el polímero durante el recorrido por la tubería hacia el tanque espesador.

Para este paso es importante realizar constantemente pruebas de jarra para identificar la dosis óptima del polímero y que el operario se encuentre debidamente capacitado para atender cualquier necesidad que se presente en dicho paso.

### **9.1.3 Tanque espesador.**

El objetivo principal del tanque espesador es conseguir que los sólidos presentes en el medio acuoso se compacten en el fondo del tanque, de

---

<sup>17</sup> HARDENBERGW, Rodie, Water Supply and Waste Disposal. International Textbook. P60

donde se extraen por bombeo hacia el sistema de deshidratación. Este tanque está conformado por una estructura circular con flujo vertical ascendente y tolva de recolección de lodos. Los espesadores trabajan con tasas similares a los equipos de manto de lodos, entre 24 y 30 m<sup>3</sup> / (m<sup>2</sup>\*d). La evacuación de los lodos decantados se puede realizar con descargas periódicas a través de una línea de desagüe provista de bocas de inspección para su mantenimiento.<sup>18</sup> Se adopta una tasa de 24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*d, teniendo en cuenta que no se proyectan mecanismos rotatorios para el diseño.

#### 9.1.3.1 Área y diámetro del espesador:

$$A_E = \frac{Q_{Lt}}{T_M}$$

Dónde:

A<sub>E</sub>: Área del espesador

Q<sub>Lt</sub>: Caudal total de lodos diarios

T<sub>M</sub>: Tasa de manto de lodos

$$A_E = \frac{31 \text{ m}^3/\text{d}}{24 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}} = 1.29 \text{ m}^2$$

Teniendo el área del tanque se puede definir el diámetro mínimo para el diseño, de la siguiente manera:

$$A_E = \pi * r^2 = \pi * \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2$$

$$\pi * \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2 = \pi * \left(\frac{\emptyset^2}{4}\right)$$

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 * A_E}{\pi}}$$

---

<sup>18</sup>ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Ibit P298

Dónde:

Ae: Área del espesador

∅: Diámetro del espesador

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * 1.29m^2}{\pi}} = 1.28m$$

De acuerdo al área, su diseño básico se observa en el **Anexo J**. Las características principales del espesador son las siguientes:

- Fondo con forma cónica;
- Tolva central de recolección de lodos;
- Profundidad en la periferia = 2.0 m;
- Profundidad en el centro = 2.5 m; y
- Volumen útil en la sección cilíndrica.

#### 9.1.3.2 Volumen del espesador y tiempo de detención:

$$V_U = \left(\frac{\pi}{4} * \varnothing^2\right) P_P$$

Dónde:

V<sub>U</sub>: volumen útil

∅: Diámetro del espesador

P<sub>P</sub>: Profundidad en la periferia

$$V_U = \left(\frac{\pi}{4} * (1.28)^2\right) 2m$$

$$V_U = 2.57m^3 * \frac{1,000 l}{1m^3} = 2,574 l$$

Tiempo promedio de detención para el volumen útil:

$$T_V = \frac{V_U}{Q_{Lt}}$$

Dónde:

T<sub>V</sub>: Tiempo de detención del volumen útil

Q<sub>Lt</sub>: caudal total de lodos diario (l/s).

$$T_V = \frac{2,574l}{0.36 \text{ l/s}}$$

$$T_V = 7,150s * \frac{1min}{60s} = 119min$$

### 9.1.3.3 Caudal de alimentación del espesador:

Según Valencia, el espesador genera un 60% de disminución de volumen de los lodos tratados<sup>19</sup>, proporción que depende del polímero utilizado para lograr el espesamiento de los lodos, por tanto, el caudal de lodos con que hay que alimentar al filtro prensa es:

$$Q_L = 31 \frac{m^3}{día} * 0.4 = 12.4 \frac{m^3}{día}$$

$$Q_L = 12.4 \frac{m^3}{día} * \frac{1día}{86,400 \text{ s}} * \frac{1,000 \text{ L}}{1m^3}$$

$$Q_L = 0.14 \frac{L}{s}$$

Dicho caudal será el de salida del espesador hacia el filtro prensa que se prevé implementar. Para la recolección del agua decantada se instalara una tubería de 4 pulgadas de diámetro ubicada en la zona periférica del tanque espesador con el fin de recircular el agua al inicio del proceso de potabilización.

El polímero requerido para el espesamiento debe garantizar que el uso del mismo no afectara las características del agua, pues su función es remover los sólidos suspendidos (en este caso el lodo) sin dejar remanentes de producto en el agua que logra separarse del lodo durante el espesamiento.

---

<sup>19</sup>ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Ibit P233



Sin embargo se recomienda comprobar esto a través de ensayos fisicoquímicos en el agua sobrenadante. El lodo espesado sería retirado del cono por la parte inferior del mismo a través de una bomba de tornillo (para evitar el rompimiento del floc) y transportarlo por una tubería de 4 pulgadas de diámetro hacia el filtro prensa.

#### 9.1.3.4 Caudal de evacuación (Filtro prensa):

Se evalúan las condiciones hidráulicas de la línea proyectada para la evacuación de lodos hidratados del espesador hacia el filtro prensa, 0.14 l/s, con una pendiente de 1.0% con llegada para facilitar el arrastre de los sedimentos que se puedan presentar.

$$Q_{LL} = \left(\frac{1}{n}\right) * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Dónde:

$Q_{LL}$ : caudal a tubo lleno

$\varnothing$ : diámetro tubería = 3" = 0.0762 m

A: área de la tubería = 0.00456 m<sup>2</sup>

n: rugosidad de la tubería (hierro dúctil) = 0.010

R: radio hidráulico =  $\varnothing/4$  = 0.01905 m

S: pendiente = 1%

$$Q_{LL} = \left(\frac{1}{0.01}\right) * 0.00456m^2 * 0.01905^{2/3}m * 0.01^{1/2}$$

$$Q_{LL} = 0.0033 m^3/s * \left(\frac{1000 l}{1m^3}\right) = 3.3 \frac{l}{s}$$

Velocidad a tubo lleno:

$$v_{LL} = \frac{Q_{LL}}{A}$$

Dónde:

$v_{LL}$ : Velocidad a tubo lleno

$Q_{LL}$ : Caudal a tubo lleno

A: Área de la tubería

$$\vartheta_{LL} = \frac{0.0033 \text{ m}^3/\text{s}}{0.00456 \text{ m}^2} = 0.732 \text{ m/s}$$

Fuerza tractiva a tubo lleno:

$$\tau_{LL} = \gamma * S * R$$

Dónde:

$\tau_{LL}$ : Fuerza tractiva a tubo lleno ( $\text{kg/m}^2$ )

$\gamma$ : Peso específico del lodo ( $\text{kg/m}^3$ )

S: Pendiente = 0.01 (m/m)

R: radio hidráulico = 0.01905 (m)

$$\tau_{LL} = 250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.01 * 0.01905 \text{ m}$$

$$m = 0.0476 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Relación

$$\frac{Q_{real}}{Q_{LL}} = \frac{0.00014 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0033 \text{ m}^3/\text{s}} = 0.0424$$

Para este valor se tienen las siguientes relaciones hidráulicas para tuberías parcialmente llenas (**Ver Anexo I**).

$$\frac{\vartheta_{real}}{\vartheta_{LL}} = 0.419 \Rightarrow \vartheta_{real} = 0.419 * \vartheta_{LL} = 0.419 * 0.732 \text{ m/s} = 0.307 \text{ m/s}$$

$$\frac{d_{real}}{D_{LL}} = 0.152 \Rightarrow d_{real} = 0.152 * D_{LL} = 0.152 * 0.0762 \text{ m} = 0.0116 \text{ m}$$

$$\frac{\tau_{real}}{\tau_{LL}} = 0.375 \Rightarrow \tau_{real} = 0.375 * \tau_{LL} = 0.375 * 0.0476 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 0.018 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

9.1.3.5 Caudal de recirculación (inicio PTAP):

$$Q_R = Q_L - Q_{LE}$$

Dónde:

$Q_R$ : Caudal de recirculación

$Q_L$ : Caudal diario de lodos

$Q_{LE}$ : Caudal de lodos que sale del espesor

$$Q_R = 0.36 \text{ l/s} - 0.14 \text{ l/s} = 0.22 \text{ l/s}$$

$$Q_R = 0.22 \text{ l/s} * \left( \frac{1 \text{ m}^3}{1,000 \text{ l}} \right) = 2.2 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Se evalúan las condiciones hidráulicas de la línea proyectada para la recirculación del caudal de recolección de espesador hacia el sitio de la mezcla rápida en la planta, 0.22 l/s, con una pendiente de 1.0% para facilitar el arrastre de los sedimentos que se puedan presentar.

Caudal a tubo lleno:

$$Q_{LL} = \left( \frac{1}{n} \right) * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Dónde:

$Q_{LL}$ : Caudal de tubo lleno

$\emptyset$ : Diámetro tubería = 4 in = 0.1016 m

A: Área de la tubería = 0.0081 m<sup>2</sup>

n: Rugosidad de la tubería (P.V.C) = 0.009

R: Radio hidráulico =  $\emptyset/4$  = 0.0254 m

S: Pendiente = 1%

$$Q_{LL} = \left( \frac{1}{0.009} \right) * 0.0081 \text{ m}^2 * 0.0254^{2/3} \text{ m} * 0.01^{1/2}$$

$$Q_{LL} = 0.008 \text{ m}^3/\text{s} * \left( \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \right) = 8 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Velocidad a tubo lleno:

$$v_{LL} = \frac{Q_{LL}}{A}$$

Dónde:

$v_{LL}$ : Velocidad a tubo lleno

$Q_{LL}$ : Caudal a tubo lleno

A: Área de la tubería

$$v_{LL} = \frac{0.008 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0324 \text{ m}^2} = 0.25 \text{ m/s}$$

Fuerza tractiva a tubo lleno:

$$\tau_{LL} = \gamma * S * R$$

Dónde:

$\tau_{LL}$ : Fuerza tractiva a tubo lleno (kg/m<sup>2</sup>)

$\gamma$ : Peso específico del agua (kg/m<sup>3</sup>)

S: Pendiente = 0.01 (m/m)

R: Radio hidráulico = 0.0254 (m)

$$\tau_{LL} = 1,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.01 * 0.0254 \text{ m}$$

$$m = 0.254 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Relación

$$\frac{Q_{real}}{Q_{LL}} = \frac{0.00022 \text{ m}^3/\text{s}}{0.008 \text{ m}^3/\text{s}} = 0.0275$$

Para este valor se tienen las siguientes relaciones hidráulicas para tuberías parcialmente llenas (**Ver Anexo I**).

$$\frac{v_{real}}{v_{LL}} = 0.386 \Rightarrow v_{real} = 0.386 * v_{LL} = 0.386 * 0.25 \text{ m/s} = 0.096 \text{ m/s}$$

$$\frac{d_{real}}{D_{LL}} = 0.131 \Rightarrow d_{real} = 0.131 * D_{LL} = 0.131 * 0.1016 \text{ m} = 0.0133 \text{ m}$$

$$\frac{\tau_{real}}{\tau_{LL}} = 0.328 \Rightarrow \tau_{real} = 0.328 * \tau_{LL} = 0.328 * 0.254 \text{ kg/m}^2 = 0.083 \text{ kg/m}^2$$

#### **9.1.4 Filtro prensa.**

Es la parte final del proceso, en la cual se reciben los lodos del espesador y para ser deshidratados o desaguados, este es un equipo de diseño complejo y se adquiere directamente del fabricante quien lo realiza según las necesidades del solicitante, por lo tanto se escogió un equipo con las siguientes especificaciones.

Tipo de placa	Cámara con marco
Número de placas admisibles	35 (Polipropileno blanco)
Número de placas instaladas	22 (19 completas y dos medias)
Espesor de la torta	26 mm
Dimensiones de cada placa	40 cm x 40 cm x 2.54 cm
Dimensiones del filtro	Ancho: 56 cm. Altura: 92 cm. Longitud: 2 m

El filtro prensa recomendado posee tornillo para operación manual y tiene entradas y salidas para la filtración y el retrolavado. Todo por un costo de \$13'392,000.00 IVA no incluido y costo a Mayo de 2013.

El bastidor está formado por dos largueros de sección redonda montado en la parte lateral del bastidor, por donde se deslizan las placas filtrantes. Los largueros se fijan mediante tuercas al cabezal y testero fijo. El cabezal fijo es construido en acero inoxidable e incorpora conexión para la alimentación del fango en la parte central y cuatro salidas para la recogida del líquido filtrado. El testero fijo es construido en acero y en él se aloja el cilindro hidráulico para realizar la apertura y cierre del paquete filtrante. El cabezal móvil es

construido en acero y su deslizamiento, a través de los largueros superiores se realiza por el empuje del cilindro hidráulico. El transporte de las placas para la descarga de la torta se realiza manualmente. Luego de realizado el proceso de deshidratación, los lodos pasarían a una tolva colectora para su posterior disposición final.

El funcionamiento del sistema de tratamiento de lodos, estará controlado por la misma persona que se encuentre como operario de turno en el sistema de potabilización de la E.A.A.M.

## 10 USO FINAL DE LODOS Y COSTOS DEL SISTEMA.

### 10.1 USO O DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS

Con el fin de ofrecer alternativas a la hora de utilizar o disponer los lodos producto de los sistemas de potabilización, la *tabla 10-1* muestra una breve descripción de los diferentes métodos o alternativas para el uso y la disposición de los mismos.

**Tabla 10-1. Alternativas para El Uso o La Disposición de Lodos.**

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Utilización de Lodos en Recuperación Edafológica (Reverdecimiento de Tierras Estériles)	<p>Con el fin de darle un uso a los lodos se han intentado cubrir con humus con el fin que se puedan sembrar en ellos hierbas y otras plantas. Dependiendo de las características de los lodos deshidratados estos podrían ser un elemento de interés para este tipo de métodos, tanto desde el campo de la agricultura como el ambiental, pero se debe tener en cuenta el tipo de vegetación que se desea plantar ya que se pueden tener inconvenientes por los materiales pesados que estos contengan; de igual manera con los riesgos causados por la infiltración o escurrimiento de estos compuestos.</p> <p>Los lodos pueden ser útiles en la recuperación ecológica de ecosistemas, en especial los ecosistemas de alta montaña.</p> <p>Los problemas más importantes asociados con la aplicación de los lodos de plantas de tratamiento en los suelos son: incorporación de metales en estos y en las aguas</p>

<b>MÉTODO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	<p>subterráneas, adsorción del fósforo del suelo, disminución de la productividad del suelo y el incremento excesivo de nitrógeno en el agua subterránea.</p> <p>La aplicación moderada de lodos de plantas de tratamiento puede mejorar las condiciones físicas del suelo, por la floculación de partículas coloidales que favorecen la agregación del suelo mediante reacciones análogas al tratamiento del agua.</p> <p>Los óxidos de hidrogeno metálicos contenidos en los lodos de plantas de potabilización son fuertemente absorbentes de metales traza y fósforo. En términos de los metales traza, la aplicación de lodo en el suelo puede resultar beneficiosa, reduciendo o eliminando estas concentraciones en el suelo. Caso contrario de lo que ocurre con la absorción del fósforo del suelo, el cual es un elemento esencial en el mismo.</p> <p>La aplicación de lodos de plantas de tratamiento en la silvicultura es poco común. De acuerdo con diferentes investigaciones realizadas, se ha encontrado efectos por la aplicación de lodos: como el bajo crecimiento de los árboles, bajos niveles de nutrientes, disminución leve del contenido de fósforo e incremento del pH del suelo.</p>
<p>Alimento para Animales</p>	<p>Dependiendo de sus características algunos lodos de origen doméstico e industrial, poseen ciertos elementos como calcio, fósforo y algunas vitaminas útiles para la alimentación de animales domésticos (ganado vacuno, porcino, gallinas o lombrices), algunos estudios realizados indican que gallinas alimentadas parcialmente con los lodos crecían con mayor</p>



<b>MÉTODO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	<p>rapidez y ponían más huevos que las que eran alimentadas con alimentos concentrados, desafortunadamente y a pesar del costo de los alimentos industriales para los animales, esta no parece ser una idea que posea muchos adeptos, debido a la falta de estudios que demuestren las reacciones del consumo de productos de animales alimentados con lodos, lo que se ve reflejado directamente en la resistencia de los criadores al uso de los lodos como alimento y mayor aún la de los consumidores.</p>
Fijación Química	<p>El proceso de fijación química consiste en el mezclado de lodo crudo, lodo líquido tratado o lodo deshidratado, con agentes estabilizadores tales como el cemento, silicato de sodio, material puzolánico (silicatos finos) y cal, para que reaccione químicamente con el lodo y lo aisle. El proceso puede generar un producto de elevado pH que inactiva las bacterias patógenas y virus. En muchos de los procesos de tratamiento químico, la consistencia es similar a la de las arcillas naturales.</p> <p>El proceso se emplea en el tratamiento de lodos de origen industrial y residuos peligrosos para inmovilizar los compuestos no deseables. Adicional se ha utilizado para estabilizar lodos urbanos para su uso como material para recubrimiento de vertederos y proyectos recuperación de terreno.</p>
Incineración	<p>La incineración de lodos consiste básicamente en dos procesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaporación del agua</li> <li>• Incineración de la sustancia seca, en algunos casos con la adición de combustible, esto en caso que el contenido de</li> </ul>

<b>MÉTODO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	<p>calor de la sustancia seca no proporcione el calor necesario para la evaporación.</p> <p>La incineración es la destrucción completa de materiales por calor a sus componentes inertes. Para el proceso de incineración, el lodo debe estar debidamente deshidratado, aproximadamente con un contenido del 30% de sólidos, con este porcentaje el proceso puede llevarse a cabo sin necesidad de combustible adicional excepto para el calentamiento inicial.</p> <p>El propósito de la incineración es reducir la torta del lodo a su volumen mínimo, como ceniza estéril. Hay tres objetivos que la incineración debe lograr: reducir el contenido orgánico, reducir la humedad de los lodos y producir un residuo o ceniza estéril.</p> <p>Cumplir estas metas es costoso, además de causar problemas de contaminación al aire.</p> <p>Se debe tener en cuenta que este método, dependiendo de la forma de operación, puede producir un residuo no aprovechable de cenizas que requieren una disposición final adecuada.</p>
<p>Fabricación de Ladrillos Aislantes</p>	<p>El lodo procedente de una planta potabilizadora de agua contiene en promedio un 70% de humedad y su fracción seca está compuesta por materia inorgánica y orgánica, dependiendo del tipo de tratamiento al que se haya sometido, además de contener cierta cantidad de metales en proporción.</p>

<b>MÉTODO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	<p>El ladrillo, fabricado a partir de lodo, se constituye fundamentalmente de cuatro componentes básicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lodo seco o húmedo: Aporta dureza y metales (35% de la mezcla)</li> <li>• Residuos forestales pueden disminuir la humedad hasta en un 70% aumentando la compactación (20% de la mezcla)</li> <li>• Residuos combustibles: Generalmente se trabajan cenizas de hornos de fundición, lo que aporta minerales que se incorporan a la matriz cerámica; estos residuos son los responsables de la porosidad y elevan la temperatura en el interior de la estructura (10% de la mezcla)</li> <li>• Cerámica: Base del ladrillo; puede representarse por arcilla o cualquier material puzolánico (35% de la mezcla)</li> </ul> <p>La elaboración del ladrillo se fundamenta en un mezclado y una cocción. La primera operación puede realizarse en una maquina mezcladora cuando se trabajan altos volúmenes. La segunda se realiza en un horno de cocción a una temperatura superior a los 1000 °C, para que suceda el proceso normal de ceramización. El resultado es un ladrillo completamente ecológico con propiedades termo acústicas especiales y que cumple con los parámetros de resistencia y dureza de los ladrillos convencionales.</p>
Relleno y Monorelleno	Tradicionalmente existen dos opciones de disposición de los

<b>MÉTODO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	<p>lodos generados en plantas de tratamiento: relleno sanitario y monorelleno. Para ello, existen una serie de criterios a considerar en su implementación de tal forma que garanticen tanto el adecuado funcionamiento como la salud pública de la población y el ambiente. Para esto, los lodos deben concentrarse a un estado semisólido o pastoso, seguido de un tratamiento de secado. Además, debe controlarse el área de disposición en el relleno sanitario, cuidando los problemas de olores y las posibles fallas que se puedan presentar. Los lodos deshidratados se han utilizado en diversos países como agentes de relleno en la construcción de terraplenes. De acuerdo con las especificaciones correspondientes de obras públicas, dichos lodos cumplen los mismos requisitos que los materiales usados comúnmente.</p>
Lagunaje	<p>El uso de las técnicas de lagunaje es otro método de común aplicación para la evacuación del lodo, ya que es una opción sencilla y económica, en caso de que la planta de tratamiento se halle en una zona remota. Una laguna es un estanque excavado en el terreno en el que se descarga el lodo crudo o digerido. En los estanques de lodo crudo, los sólidos orgánicos se estabilizan mediante procesos de descomposición aerobia y anaerobia, lo cual puede dar lugar a la generación de olores desagradables.</p> <p>Si la laguna solo utiliza lodo digerido, las condiciones de malos olores deberían ser mínimas. Se debe estudiar la posibilidad de drenaje superficial y la existencia de percolación para determinar los posibles efectos sobre aguas subterráneas.</p>
Obtención de Energía por	<p>La gasificación es un paso previo a la combustión ya que consiste en transformar el combustible, o residuo, en gas o</p>

<b>MÉTODO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Metanización	<p>gases combustibles para su posterior tratamiento. Los microorganismos contenidos en los lodos permiten, por fermentación anaeróbica, una producción de metano que debe aprovecharse en esta época de crisis energética.</p> <p>Para aprovechar este gas, el lodo primario que sale por el fondo del decantador, debe introducirse en un digestor anaeróbico. Desde el punto de vista de impacto ambiental este proceso aporta la ventaja de eliminar malos olores, aparte de impedir que el metano producido sea enviado a la atmósfera.</p>

*Fuente: El Autor*

La *tabla 10-2* indica las principales ventajas y desventajas de las alternativas anteriormente descritas.

***Tabla 10-2. Ventajas y Desventajas de Las Alternativas de Disposición.***

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
COMPOSTAJE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de metales pesados;</li> <li>• Aumento de materia orgánica;</li> <li>• Reducción de humedad;</li> <li>• El producto final tiene las dos características necesarias para ser comercializado; y</li> <li>• El producto final sirve para la remediación edáfica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se maneja poco volumen que impide un desalojo rápido del lodo;</li> <li>• El contenido de humedad del lodo no permite hacer compostaje;</li> <li>• La cantidad de variables a manejar hace del compostaje una técnica complicada;</li> <li>• La excesiva concentración de metales pesados impiden el metabolismo de las bacterias de este proceso; y</li> </ul>

ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere adecuación del lodo e insumos de acondicionamiento.</li> </ul>
DISPOSICIÓN COMO RELLENO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rápido desalojo del lodo; y</li> <li>• No se requiere adecuación de lodo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es necesario tener disponible un gran terreno; y</li> <li>• Implica un sistema de construcción complejo.</li> </ul>
FIJACIÓN QUÍMICA; y FABRICACIÓN DE AISLANTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El producto final tiene las características para ser comercializado;</li> <li>• Rápido desalojo del material; y</li> <li>• No importan las características del lodo para esta opción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere otros insumos y maquinaria; y</li> <li>• Requiere tiempo para su implementación debido a la consecución de los equipos y a estudios preliminares.</li> </ul>
DISPOSICIÓN SOBRE EL SUELO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rápido desalojo del lodo;</li> <li>• No requiere adecuación;</li> <li>• Cumple con las normas legales sobre lodos; y</li> <li>• Dependiendo sus características sirve para la remediación edáfica, otorgándole propiedades benéficas al suelo y las plantas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere de disponibilidad de terreno;</li> <li>• Se requiere controlar parámetros como Al y Fe; y</li> <li>• Se requiere análisis del terreno donde se va a disponer.</li> </ul>

Fuente: El Autor

Teniendo en cuenta las descripciones de la *tabla 10-1*, la *tabla 10-2*, para la selección de alternativas para el uso y la disposición de lodos y teniendo en

cuenta que según los cálculos realizados se obtendrá un porcentaje de sólidos resultante en la torta de lodos filtrada aproximadamente de entre un 30% a 45%, siendo uno de los más altos obtenidos por procesos de deshidratación mecánica.

Con esta referencia se infiere que la alternativa de disposición más adecuada para los lodos previamente tratados es la disposición sobre suelos para la recuperación edafológica, teniendo en cuenta que la mayor parte de las sustancias disueltas en el agua a recircular, no quedarán retenidas en el proceso de tratamiento, a excepción de aquellas (por ejemplo los compuestos de  $M^{++}$  y  $Fe^{++}$ ) que al oxidarse pasan a insolubles, o aquellas que pueden llegar a precipitar por sobrepasar el producto de solubilidad correspondiente (sulfatos y carbonatos), lo que es un hecho muy improbable, ya que en el agua tratada no hay materia en suspensión alguna; de esta forma, los compuestos asociados al aluminio y azufre no quedarán retenidos en los lodos procedentes del tratamiento del agua, sino que se disociarán y recircularán al proceso de potabilización junto con el agua sobrenadante que sale del ecualizador, el espesador y el filtro.

Otra de las razones que conlleva a la selección de esta forma de aprovechamiento de los lodos tratados es que estos en la caracterización previa al tratamiento tienen un alto contenido de nitrógeno y fósforo que son nutrientes necesarios para el mantenimiento de los suelos y recuperación de los mismos.

## 10.2 ESTIMACIÓN DE COSTOS POR IMPLEMENTACIÓN DE ALTERNATIVA.

La *tabla 10-3* presenta la valoración económica de la construcción del sistema de tratamiento de lodos.

**Tabla 10-3. Costos por implementación de alternativas.**

Nº	ÍTEM.	Un.	Ca.	COSTO Un.	COSTO TOTAL
<b>1</b>	<b>TANQUE ECUALIZADOR</b>				
<b>1.1</b>	<b>Concreto</b>				
1.1.1	Paredes	m <sup>3</sup>	16	\$ 230,000.00	\$ 3,680,000.00
1.1.2	Muro de contención	m <sup>3</sup>	4	\$ 300,000.00	\$ 1,200,000.00
1.1.3	Base	m <sup>3</sup>	6	\$ 230,000.00	\$ 1,380,000.00
1.1.4	Mano de Obra	h/man	720	\$ 10,000.00	\$ 7,200,000.00
<b>1.2</b>	<b>Barandas</b>				
1.2.1	Tubería Ø=1"; H=0.9m; L=4m.	Un	6	\$ 38,000.00	\$ 228,000.00
<b>1.3</b>	<b>Tubería y Accesorios</b>				
1.3.1	Tubería Gres Ø=10"	Un	12	\$30,550.00	\$ 366,600.00
1.3.2	Tubería P.V.C Sanitaria RDE 41 Ø=6"	Un	1.5	\$42,000.00	\$ 63,000.00
1.3.3	Codo Ø=10" x 90, BxB HD	Un	4	\$76,539.00	\$ 306,156.00
1.3.4	Codo Ø=6" x 90, BxB HD	Un	2	\$79,800.00	\$ 159,600.00
1.3.5	Te Ø=10"	Un	1	\$70,200.00	\$ 70,200.00
1.3.6	Válvula CS 6" Compuerta	Un	2	\$465,000.00	\$ 930,000.00
<b>1.4</b>	<b>Bombas</b>				
1.4.1	Motobomba conexión roscada de 6"x 6" y motor 4 HP de 1,600rpm	Un	1	\$2,300,000.00	\$ 2,300,000.00
1.4.2	Motobomba autocebante 10"x 8"	Un	1	\$9,530,000.00	\$ 9,530,000.00
				<b>Sub-Total</b>	<b>\$ 27,413,556.00</b>



Nº	ÍTEM.	Un.	Ca.	COSTO Un.	COSTO TOTAL
<b>2</b>	<b>ESPEADOR DE LODOS</b>				
<b>2.1</b>	<b>Concreto</b>				
2.1.1	Paredes	m <sup>3</sup>	5	\$230,000.00	\$ 1,150,000.00
2.1.2	Placa de fondo y cárcamo	m <sup>3</sup>	2	\$230,000.00	\$ 460,000.00
2.1.3	Mano de obra	h/man	150	\$10,000.00	\$ 1,500,000.00
<b>2.2</b>	<b>Tubería y accesorios</b>				
2.2.1	Tubería P.V.C Sanitaria Ø=6"	Un	4	\$78,312.00	\$ 313,248.00
2.2.2	Válvula CS 4" Compuerta	Un	2	\$254,000.00	\$ 508,000.00
2.2.3	Codo Ø=6" x 90, B x B HD	Un	2	\$76,359.00	\$ 152,718.00
<b>2.3</b>	<b>Bombas</b>				
2.3.1	Bomba de envío entrada Ø=4" tornillo	Un	1	\$941,000.00	\$ 941,000.00
2.3.2	Bomba dosificación tipo diafragma	Un	1	\$1,080,000.00	\$ 1,080,000.00
				<b>Sub-Total</b>	<b>\$ 6,104,966.00</b>
<b>3</b>	<b>FILTRO PRENSA</b>				
3.1	Filtro Prensa	Un	1	\$15,534,952.0	\$ 15,534,952.00
3.2	Tubería CS 4"	Un	1	\$53,000.00	\$ 53,000.00
3.3	Recolector de lodos	Un	1	\$350,000.00	\$ 350,000.00
				<b>Sub-Total</b>	<b>\$ 15,937,952.00</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 49,456,474.00</b>

Fuente: El Autor.

<b>Notas</b>
Un=Unidad; Ca=Cantidad; m <sup>3</sup> =Metros cúbicos
h/man=Hora hombre
(*) Los valores estipulados en la tabla son actualizados a Mayo de 2013

Las operaciones adicionales por la implementación del sistema de tratamiento de lodos pueden ser realizadas por los operadores de la PTAP, sin embargo, es de gran importancia que dicho personal sea capacitado ya que esto puede verse reflejado directamente en la eficiencia calculada para la operación óptima del sistema.

## **11 GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LODOS EN MUNICIPIOS DE ESCALA MEDIA**

Este capítulo tiene como fin resumir las fases llevadas a cabo durante la investigación, los cálculos y los diseños del proyecto para el tratamiento de lodos por medio del desarrollo de una metodología que permita guiar a otros municipios a la hora de querer diseñar sus propios sistemas de tratamiento, por lo cual es necesario recordar que una metodología es aquella guía que se sigue a fin realizar las acciones propias de una investigación. En términos más sencillos se trata de la guía que nos va indicando qué hacer y cómo actuar cuando se quiere desarrollar algún tipo de investigación. Es posible definir una metodología como aquel enfoque que permite observar un problema de una forma total, sistemática y disciplinada.

Al intentar comprender la definición que se hace de lo que es una metodología, resulta de suma importancia tener en cuenta que una metodología no es lo mismo que la técnica de investigación. Las técnicas son parte de una metodología, y se define como aquellos procedimientos que se utilizan para llevar a cabo la metodología, por lo tanto, como es posible intuir, es uno de los muchos elementos que la incluyen<sup>20</sup>.

Para el desarrollo de la presente investigación se planteó un método a través del cual se determinan los pasos que permiten guiar y conlleven a la consecución de los objetivos establecidos en la investigación, para facilitar dichos pasos se empleó un diagrama de flujo como base, el cual permite de manera práctica y sencilla, establecer las pautas para el diseño del sistema de tratamiento de lodos, en municipios de escala media de la sabana de

---

<sup>20</sup> <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r33282.PDF>

Bogotá con características similares a las de la PTAP de Madrid, Cundinamarca utilizada como caso piloto.

### **11.1 FASE I LÍNEA BASE**

El proceso inicial nos ubica en el lugar al que se le aplicara la Metodología que para el caso se trata de la PTAP del Municipio de Madrid, Cundinamarca, durante esta etapa se busca recopilar los datos y la información básica de la PTAP a través de diferentes herramientas o componentes.

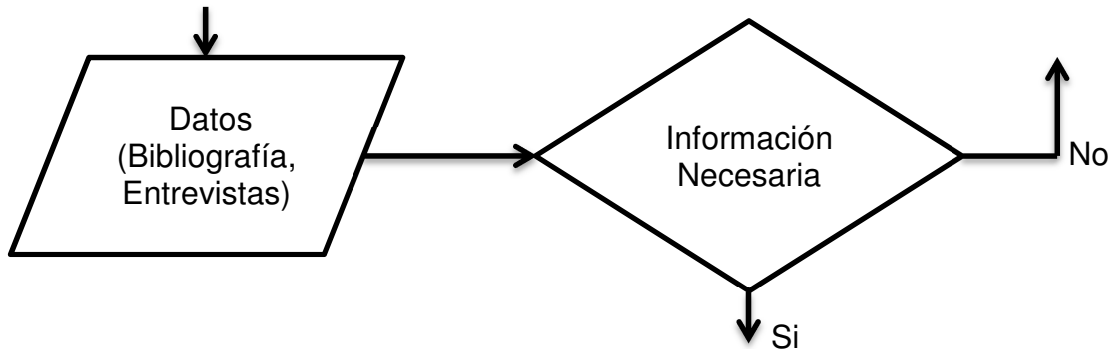


Se puede recolectar la información secundaria de diferentes fuentes, como lo son investigaciones bibliográficas, entrevistas y visitas de campo, Para el caso específico de la PTAP de Madrid se puede detallar la información recopilada en los *“Capítulos 6 y 7 en los numerales 7.1, 7.2 y 7.3 del presente documento”* los cuales brindan una idea del tipo de información y las fuentes a ser consultadas para la recopilación de datos durante esta parte de la investigación.

Para establecer la línea base se pueden utilizar las siguientes fuentes de información:

- \* Revisión de documentos (Esta incluye referencias bibliográficas, normativas, estudios previos con relación al tema)
- \* Entrevistas (Gerentes, operadores y trabajadores en general, si existen entes de control en torno al tema pueden ser consultados para la búsqueda de información)

- \* Reconocimiento del sitio (A través de una visita de campo se pueden obtener los datos básicos requeridos para el desarrollo de esta etapa)



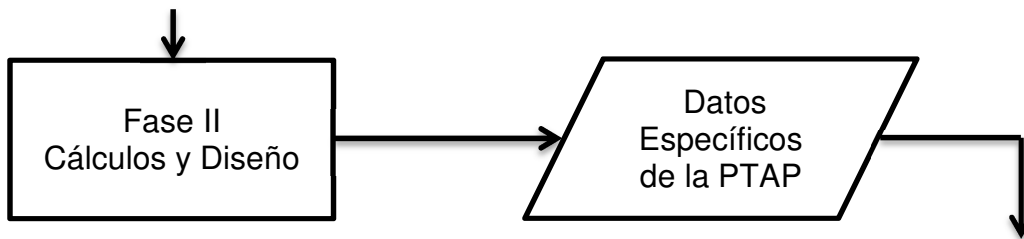
En esta etapa es de gran importancia identificar la información con una mayor grado de relevancia de los diferentes procesos llevados a cabo por la PTAP, como lo son las fuentes de abastecimiento de agua (cuerpo de agua superficial, pozos profundos) ya que dependiendo de estas se puede influir en la cantidad de lodos a tratar, los procesos llevados a cabo para la potabilización de agua en la PTAP (sedimentación, floculación, entre otros) y los datos de entrada de dichos procesos los cuales serán vitales para el cálculo de los caudales a tratar y los que servirán como base a la hora de escoger el tipo de tratamiento de los lodos y los diseños de su sistema.

Cabe aclarar que esta fase inicial solo se enfocara en la información general de la PTAP, los datos específicos del sitio que deban ser obtenidos por medio de cálculos, ensayos de laboratorio o toma de muestras serán recolectados en una fase secundaria.

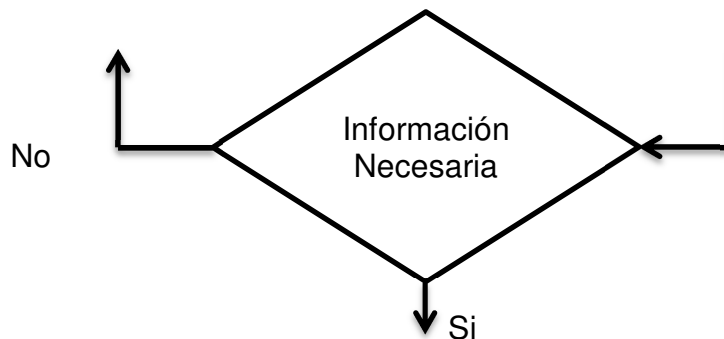
## **11.2 FASE II CÁLCULOS Y DISEÑO**

Una vez obtenida e identificada la información secundaria, se procede a analizar con el fin de determinar las mejores opciones para el diseño del

sistema de tratamiento de lodos que se adapte a las necesidades del sitio y los requerimientos del mismo.



Tomando como base los datos específicos de la PTAP, se da inicio a los cálculos de los diferentes parámetros para la obtención de los valores del diseño del tratamiento de lodos, para el caso específico de la PTAP de Madrid, la información secundaria se encuentra en los “*Capítulos 7 en su numeral 7.4; y el capítulo 8 del presente documento*” adicional en estos numerales se puede encontrar la información general que servirá como guía en la planeación de sistemas de tratamiento para otras PTAP, los cuales permitirán enfocar la investigación en los parámetros específicos del sitio.

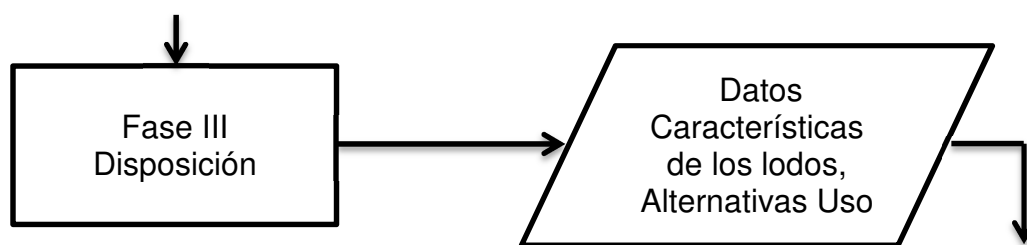


En cuanto a los cálculos de los caudales, velocidades y volúmenes máximos y promedio de lodos a tratar y los diseños detallados del sistema de tratamiento de la PTAP de Madrid y sus valores se encuentran detallados en el “*Capítulo 9 del presente documento*”.

En el capítulo 9 en “*el numeral 9.1.2*” se toca el tema de la practica adicional para los sistemas de tratamiento de lodos de las PTAP y es la adición de polímeros a los lodos, ya que estos poseen una serie de características que brindan ventajas al producto final de los sistemas planteados; es de suma importancia entender que esta práctica no es garantía de mayores éxitos en la implementación de la recuperación de lodos y que dependen de las características de los mismos por lo que se deben realizar una serie de ensayos con el fin de escoger el polímero con las mejores características para el lodo a tratar.

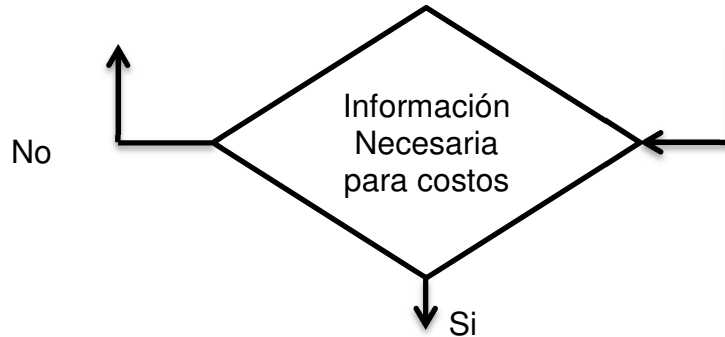
### **11.3 FASE III USO, DISPOSICIÓN Y ESTIMACIÓN DE COSTOS**

La fase III gira en torno al tema de los costos, esto debido a que es un tema crucial a la hora de definir si se ejecutan o no los sistemas diseñados para el tratamiento de lodos, pero es clave saber que se pueden identificar oportunidades para disminuir los costos de la implementación de los sistemas ya que dependiendo de las características del producto final es posible generar ingresos que puedan utilizarse para la manutención del mismo.



En La “*Tabla 10.1 del numeral 10.1 del Capítulo 10 del presente documento*” se muestran las opciones para el uso y la disposición final de los lodos, previo paso por los sistemas de tratamiento y con base en la caracterización del lodo final, dependiendo de las características de este se puede obtener una ganancia económica. La Tabla 10.2 del mismo capítulo, indica las

ventajas y desventajas a la hora de utilizar o disponer el lodo a través de los diferentes métodos.



Una vez establecidos los diseños y los detalles del sistema se puede estimar los costos requeridos para la implementación de los mismos, el "Numeral 10.2 del presente documento" muestra el cálculo de los costos estimados para la ejecución del sistema de tratamiento de lodos en la PTAP del municipio de Madrid, Cundinamarca.



En el **Anexo K** se presenta el diagrama de flujo completo para la implementación de la metodología para el diseño de sistemas de tratamiento de lodos.

#### **11.4 VENTAJAS DEL USO DE LA METODOLOGÍA**

Uno de los objetivos principales del desarrollo de la metodología es ampliar el panorama de las consideraciones a tener en cuenta en el momento de tomar la decisión en torno a si construir o no un sistema de tratamiento de

lodos en la PTAP, por lo que a continuación se presentan las ventajas que se pueden obtener al incluir dicho proceso en la operación de potabilización, teniendo en cuenta las características específicas de la PTAP de Madrid que funcionó como caso piloto para el desarrollo del presente proyecto y la cual funciona como muestra representativa de los municipios de la sabana de Bogotá.

Las ventajas se dividen en tres factores el técnico, el económico y el ambiental, y se presentan a continuación:

#### **11.4.1 Factor Técnico.**

Para el caso específico del municipio de Madrid Cundinamarca, técnicamente al desarrollar el sistema de tratamiento de lodos se aportarían a la PTAP dos beneficios inmediatos y uno que dependería de ciertos ensayos para su desarrollo final, como se indica a continuación:

##### *11.4.2.1 Recirculación de agua:*

Con el fin de obtener una ventaja técnica en el diseño del tanque espesador del sistema de tratamiento de lodos se incluye un sistema de recirculación que retornaría las aguas clarificadas del proceso a la entrada de la PTAP con el fin de tratarla y recuperarla para ser utilizada como agua cruda, esto beneficiaría el proceso ya que se estaría recuperando un producto que actualmente se está vertiendo con los lodos que van a parar al río Subachoque.

##### *11.4.2.2 Cumplimiento de normatividad:*

A pesar de que Colombia no posee legislación específica en cuanto al manejo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable, como se indica en el marco normativo en el numeral 6.3 y en el comparativo en el numeral



7.4.2.2, existen varias normas que indirectamente obligan a realizar un mínimo de ciertas actividades con estos, razón por la cual el desarrollar el tratamiento de los lodos sería un primer paso en pro de cumplir con la legislación por parte de la PTAP lo cual evitaría procesos sancionatorios por parte de la autoridad ambiental.

#### *11.4.2.3 Recuperación de coagulante:*

Como lo indica la caracterización de los lodos, este es un material con una concentración alta en sulfatos y aluminio, debido al uso del sulfato de aluminio como agente coagulante, esto permite pensar en una posible recuperación de un porcentaje del coagulante por medio de la adición de una cantidad de los lodos al tratamiento de floculación de la PTAP de Madrid, para dicha actividad se deben realizar ensayos de laboratorio, por medio de los cuales se identifique el porcentaje apropiado para una dosis optima que no afecte la calidad del agua potable y que permita el uso de un porcentaje de los lodos generados.

#### **11.4.2 Factor Económico.**

El factor económico es el que le brinda un mayor respaldo a la toma de decisiones para la ejecución del proyecto del sistema de tratamiento de lodos por parte de las diferentes PTAP's, ya que como se indica en el Capítulo 8 en la matriz de valoración las plantas implementaran las medidas que más beneficios ofrezcan teniendo como pauta principal los costos, los cuales para garantizar la viabilidad del proyecto deberán tener una tendencia en la disminución de los mismos. Para dicho factor se observan cinco posibles beneficios por la implementación de un sistema de tratamiento de lodos.

#### 11.4.2.1 *Disminución por pago de tasas retributivas:*

La tasa retributiva por vertimientos es un instrumento económico que tiene como meta estimular cambios en el comportamiento de los sitios o personas que generen contaminación, concientizándolos del costo del daño ambiental que ocasiona su contaminación por las decisiones en su producción, esto con el fin de lograr metas ambientales que sean social y económicamente sostenibles.

La Ley 99 de 1993 establece en el artículo 42 *"Tasas retributivas y compensatorias. La utilización directa o indirecta de la atmósfera, el agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, o actividades económicas o de servicio, sean o no lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas."*

Con base en lo anterior y teniendo en cuenta la información del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el cual indica las tarifas mínimas a pagar por la carga de contaminantes en 2013, se realizó una proyección de lo que podría pagar la PTAP de Madrid por este concepto, la proyección se presenta en el **Anexo L**, esta proyección indica un costo estimado de \$775,000 COP por pagos anuales, dicho dinero podría ser utilizado en otras actividades al incluir el tratamiento de lodos en la PTAP, cabe aclarar que para el caso solo se determinó el pago con base a los lodos producidos que finalmente son los que trataría el sistema y los que dejarían de ser vertidos directamente al cuerpo de agua superficial en este caso el río Subachoque, por medio de la recirculación del agua también existiría una disminución en dicho pago sin embargo no es posible calcularlo con los datos actuales.

#### *11.4.2.2 Evitar pagos por sanciones:*

Como lo indica el Artículo 25 del decreto 3930 de 2010, No está permitida la disposición en cuerpos de agua superficiales, subterráneas y sistemas de alcantarillados de los sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de control ambiental, al incumplir la PTAP de Madrid con este artículo se ve expuesto al pago de multas diarias de hasta 5000 salarios mensuales mínimos legales vigentes y/o el cierre temporal o definitivo del establecimiento, esto de acuerdo a los numerales 1 y 2 del artículo 40 de la Ley 1333 de 2009, con base a esto la PTAP podría verse expuesta a una multa en pesos colombianos de hasta \$2,947,500,000, valor muy por encima al estimado para la ejecución del proyecto. Cabe aclarar que este es el monto máximo en el caso de una sanción y que depende directamente de la operación de la PTAP, para lo cual el sistema de tratamiento de los lodos evitaría el posible incumplimiento sobre este.

#### *11.4.2.3 Atracción en inversión por mejoras paisajísticas:*

La PTAP de Madrid se encuentra ubicada muy cerca del centro del municipio a tan solo unas cuadras de la plaza central, el vertimiento actual de los lodos residuales se hace aguas abajo en un punto aún más central que la PTAP, al establecer un sistema de tratamiento de lodos, el cual mitigue la disminución de la calidad física del agua en el río y en conjunto con una serie de actividades que permitan mejorar el aspecto físico de las aguas del río Subachoque, se podría incluir dentro del desarrollo de la ciudad lugares como restaurantes o viviendas que sacaran provecho al sector por su belleza paisajística, lo cual traería consigo una ventaja al municipio que podría verse reflejada en la disminución de pagos por impuestos por parte de la PTAP o hasta la exención de los mismos por su contribución a la mejora.

#### *11.4.2.4 Ahorro por los beneficios técnicos:*

Los beneficios técnicos indirectamente generan disminución de algunos costos, para el caso del proceso de recirculación se recupera un pequeño porcentaje de agua la cual sirve como materia prima y en el caso de poder utilizarse el lodo como parte del coagulante en el proceso de floculación, significaría un ahorro de insumos químicos para la PTAP, es importante aclarar que no es posible indicar un monto específico de ahorro en costos, debido a que el porcentaje de agua a recircular y la cantidad de lodos para utilizar como coagulante dependerían de ensayos que deben realizarse una vez se establezca el sistema de tratamiento de lodos.

#### *11.4.2.5 Ingresos por uso final de lodos producidos:*

Para el caso específico de los lodos de la PTAP de Madrid, se identificó que la mejor alternativa es el uso de estos para la recuperación edafológica de suelos erosionados por su alto contenido de nutrientes, teniendo en cuenta esto, los lodos podrían ser vendidos a un bajo costo pero gracias a la cantidad producida podrían lograr ser un ingreso significativo. No es posible indicar el ingreso generado por la venta de este producto, ya que para decirlo se debería realizar un estudio de mercado por medio del cual se identificarán las características del mercado con el que competiría el producto de los lodos y de esta manera darle un precio muy competitivo para lograr conseguir compradores y obtener ganancias. Una opción adicional es ofrecer los lodos a sitios pertenecientes al estado que los requieran y por medio de actividades que incluyan recuperar los suelos de estas propiedades con el uso de los lodos obtener una disminución en pagos de impuestos o hasta una exención de los mismos por las actividades realizadas.

### **11.4.3 Factor Ambiental.**

Es importante aclarar que para el caso específico del factor ambiental se incluye el componente social ya que la población o comunidad que se encuentra alrededor de la planta hace parte del ambiente que puede ser impactado por las actividades de la PTAP, por lo que las soluciones que se generan para el ambiente implícitamente benefician a la sociedad.

#### *11.4.3.1 Mitigación sobre el impacto al Río Subachoque:*

Uno de los principales objetivos de darle un tratamiento a los lodos generados por las operaciones de la PTAP es disminuir la actual afectación que estos producen sobre el cuerpo receptor en el que son vertidos, el diseño planteado para el tratamiento de los lodos en la PTAP de Madrid disminuiría en un 100% la cantidad de aguas lodosas que son vertidas al río Subachoque, esto contribuiría con la mejora o por lo menos el mantenimiento de la calidad del agua del río ya que la captación de agua del cuerpo superficial no reflejaría ningún tipo de impacto sobre el mismo. Sin embargo se debe tener en cuenta que la PTAP no es la única actividad que genera descargas sobre el río y que para realizar una recuperación de la calidad del mismo, se deben implementar medidas adicionales sobre este aguas arriba de la PTAP.

#### *11.4.3.2 Mejoras Sociales:*

La PTAP de Madrid se encuentra ubicada en el centro del municipio muy cerca a la plaza central, debido esta ubicación sus actividades tienen un impacto directo sobre el medio que las rodea que para el caso específico de Madrid se trata de la población urbana, al mitigar los impactos generados por las actividades, los posibles receptores de dichos impactos disminuirían también la exposición a estos y mejoraría su calidad de vida, como se aclara en el punto anterior se conoce de antemano que la PTAP no es la única actividad que realiza actividades que impactan el cuerpo de agua, sin

embargo es el inicio de una serie de acciones que brinden pautas para establecer mejores prácticas.

#### *11.4.3.3 Recuperación Edafológica de Suelos Erosionados:*

Como se indica en el capítulo 10 el uso final del lodo más apropiado según las características del mismo, es la recuperación de suelos erosionados debido a su alto contenido de nutrientes, esta actividad contribuye a la mejora de los suelos del municipio incrementando la belleza paisajística de la zona, lo que también se verá reflejado en la calidad de vida de sus habitantes.

#### *11.4.3.4 Disposición de residuos:*

Por medio del tratamiento de los lodos se está separando de forma adecuada un porcentaje de agua que se puede recircular al proceso de potabilización tal y como se indicó anteriormente y otro porcentaje de lodos los cuales tienen como fin principal ser utilizados en la recuperación edafológica de suelos erosionados, sin embargo y en el caso que el lodo final no tuviese una buena aceptación para esta actividad, como medida final este podría ser utilizado en un relleno sanitario lo que garantizaría como mínimo que al lodo se le está brindando la disposición final apropiada y que este no generara impactos adicionales.

Con el fin de facilitar el uso de la presente metodología, el **Anexo M** incluye una Guía Rápida Para El Uso de la Metodología.

## **12 CONCLUSIONES.**

Dentro del levantamiento de información realizado en la E.A.A.M. se identificó que el tratamiento de la PTAP es de tipo convencional y que los procesos de potabilización que la componen son aireación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección; haciendo especial énfasis en los procesos de sedimentación, floculación y filtración; de gran interés para el desarrollo del proyecto.

La degradación del principal suministro de agua de la PTAP generó problemas en el tratamiento de potabilización del municipio de Madrid, lo que trajo consigo la improvisación en el área técnica de la planta disminuyendo drásticamente su eficiencia y obligando a buscar nuevas alternativas de suministro como los pozos profundos y la línea de tubería de la empresa de acueducto de Bogotá, una de las principales fallas que se identificó es la que se presenta en la etapa de mezcla rápida ya que debido a la ineficiencia en el resalto hidráulico, no existe garantía en la homogenización de la mezcla del coagulante, lo que se traduce en desperdicio de insumos y el aumento de costos en la operación de la PTAP.

Se identificó que los procesos que al interior del sistema de potabilización de la PTAP de Madrid que promueven la producción de los lodos son la sedimentación, la floculación y la filtración; con especial importancia en el proceso de sedimentación del agua cruda ya que favorece la generación de sedimentos debido a la adición de coagulantes y floculantes, los principales compuestos de los lodos son los sulfatos y el aluminio, adicional a esto las características de la fuente superficial de abastecimiento de la planta posee un alto contenido de nutrientes tales como fósforo y nitrógeno provenientes

de los agroquímicos utilizados para los cultivos aledaños al río Subachoque aguas arriba de la planta de tratamiento de agua potable de la E.A.A.A.M.

Los criterios a tener en cuenta y con los cuales se estableció el diseño para el tratamiento de lodos fueron los normativos tales como el RAS y las condiciones técnicas; el caudal máximo actual de agua tratado el cual es de 98 l/s y por medio del cual se generan 31 m<sup>3</sup>/d o 967 t/mes de lodos; la caracterización del lodo de purgas de sedimentación (de la PTAP) con la cual se observó que el lodo no tiene las características de un residuo especial (niveles mínimos o ausentes de metales pesados) de acuerdo a la comparación con la actual legislación, que tiene valor como fertilizante de suelos debido a la baja presencia de materia orgánica y otros nutrientes, pero el cual requiere adecuación para su aplicación en los mismos, esto debido a que es un lodo formado por las características propias del agua cruda y por el coagulante aplicado, que para el caso es sulfato de aluminio.

Las alternativas seleccionadas para el tratamiento de los lodos fueron la equalización de los desagües de los procesos de sedimentación y filtración de la planta, posterior a esto la concentración o espesamiento del lodo en un tanque espesador lo que facilitará la posterior deshidratación de los lodos por medio de un filtro prensa de placas; Estas alternativas fueron determinadas con base en los criterios económicos y ambientales para el uso y/o aprovechamiento del lodo y el espacio disponible para la ejecución del proyecto.

Dentro de las alternativas para uso o disposición final de los lodos propuestas en el proyecto se destacan la recuperación de suelos, alimento para animales, la fijación química, la fabricación de ladrillos aislantes, entre otros y con base en el estudio se propuso como alternativa principal su uso como abono para la recuperación de suelos erosionados.



La implementación del sistema para el tratamiento de los lodos producto de las operaciones del tratamiento de agua en la PTAP de la E.A.A.A.M. tiene un costo estimado de \$ 49,456,474.00 COP, el cual es un valor alto basado en los bajos presupuestos que manejan en torno al tema de mejoras y producción más limpia este tipo de sitios, sin embargo dicha inversión podrá verse recompensada a largo plazo ya que la disminución en el impacto sobre la fuente hídrica puede ser cuantificada.

A través del desarrollo del presente proyecto se planteó un modelo metodológico que servirá como guía a sitios con características geográficas y demográficas similares a las del Municipio de Madrid como los ubicados en la Sabana de Bogotá, por medio del cual se pondrá a disposición de estos municipios las herramientas y los conceptos básicos para la toma de decisiones a la hora de seleccionar una alternativa para el tratamiento de los lodos producto de los procesos de potabilización de las PTAPs, esto teniendo en cuenta los aspectos relevantes de carácter técnico, económico y socio ambiental. El modelo planteado maneja un sistema sencillo que permite a través de un flujograma identificar los pasos principales para el desarrollo de la metodología.

Los beneficios técnicos del proyecto se verán reflejados en la recuperación del agua por medio de la recirculación, el cumplimiento legal por parte de la PTAP con la legislación colombiana y la posible recuperación de un porcentaje de coagulante por medio de los lodos tratados.

Los beneficios económicos indican que desarrollar el tratamiento de lodos en la PTAP de Madrid recuperaría la inversión en el mediano plazo, ya que seguir realizando la operación como actualmente se hace expone al sitio a sanciones que superarían los 5000 salarios mínimos mensuales legales

vigentes, adicional a esto se tiene el pago mensual de las tasas retributivas producto del vertimiento puntual que se realiza en el río Subachoque, la disminución de costos por la recirculación del agua, la posibilidad de obtener ganancias a través de la venta del lodo para uso en suelos erosionados y la recuperación de un insumo como lo es el sulfato de aluminio utilizado como coagulante en el proceso de potabilización.

Los beneficios socio-ambientales incluyen el manejo de los residuos semisólidos (en este caso lodos) con un doble propósito, el primero usar los lodos en procesos de recuperación edafológica y el segundo realizar la gestión integral de los residuos lo que se reflejaría en la mitigación del impacto de la operación de potabilización en el río Subachoque aguas abajo, la recuperación de suelos erosionados de la zona y la mejora en la calidad de vida de los habitantes del municipio de Madrid, Cundinamarca.

### **13 RECOMENDACIONES.**

Con el fin de mejorar las características y condiciones actuales del principal cuerpo de agua del municipio de Madrid el río Subachoque, se recomienda encaminar programas dirigidos a la comunidad, en acompañamiento de las industrias ubicadas en la zona. Lo que permitirá mejorar el entorno para su aprovechamiento cultural y recreacional, lo que se traduciría en la mejora de la calidad del cuerpo de agua superficial que alimenta la PTAP de Madrid facilitando el tratamiento de agua potable para suministro de la población.

Es de gran importancia que las empresas del sector público y el privado fomenten el desarrollo de investigaciones relacionadas al manejo de sub-productos generados por las diferentes actividades humanas, ya que esto permitiría mejorar nuestra calidad de vida y mitigaría la degradación de los componentes como el suelo, el aire o el agua.

Para garantizar un mejor rendimiento en las operaciones del sistema de tratamiento de la PTAP de Madrid, se recomienda identificar puntos críticos como el resalto hidráulico para rediseñarlos de acuerdo a las actuales condiciones y las características físico-químicas presentes en el agua cruda, esto con el fin de optimizar los insumos, la eficiencia en el tratamiento y minimizar la producción de residuos.

Se debe gestionar con la alcaldía del municipio de Madrid la aprobación del proyecto a fin de dar cumplimiento en forma pronta con las exigencias de los entes gubernamentales sobre la disposición final de los lodos residuales del proceso de potabilización de agua en la planta de tratamiento de agua potable, lo cual puede lograr contener dos problemáticas el suministro de

agua a la población de Madrid y los altos costos por la venta de agua en bloque por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Una vez se implementa el sistema de tratamiento propuesto, se recomienda realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos en el agua sobrenadante obtenida, para poder así determinar su calidad en comparación con el agua cruda; ya que un punto importante en la realización del proyecto es poder devolver el agua sobrenadante al inicio del proceso de potabilización, sin que se vean alteradas las propiedades iniciales de la misma, para así incrementar las buenas practicas dentro de la PTAP y garantizar la mayor eficiencia en el tratamiento seleccionado.

Se recomienda realizar estudios en conjunto con los floricultores con el fin de establecer si los lodos recuperados a través del sistema de tratamiento en la PTAP pueden llegar a ser útiles en alguna de las etapas de producción de flores, ya que esto permitiría obtener un beneficio económico a la PTAP.

Debido a que las características del lodo proveniente de la potabilización del agua pueden variar constantemente, se recomienda realizar ensayos de jarras para garantizar el buen funcionamiento del tratamiento de lodos y las características del agua a recircular. Adicional se recomienda obtener asesoría por parte de un proveedor con relación a la dosificación del polímero con el fin de mantener la operación lo más eficiente posible.

Se recomienda incluir la metodología en un plan de acción que permita difundirla a través de los diferentes municipios con características similares a las de Madrid, Cundinamarca, capacitando a las empresas de suministro de agua potable con el fin de brindarles niveles técnicos básicos de conocimiento que les permitan evaluar los posibles tratamientos en sus PTAP's y que les ayuden en el momento de la toma de decisiones.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

ADDISON, Herbert y MANTERO, José. Tratado de hidráulica aplicada, tercera edición inglesa, 1959

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Calidad y tratamiento de agua, quinta edición. España: 2002.

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua, tercera edición. Bogotá: McGraw – Hill, 2000. Tomo 1.

ACODAL. Curso de operación y mantenimiento de plantas de potabilización Bavaria S.A. Practica N° 2: Dosis optima de coagulante. Bogotá D.C. 2004.

ARUNDEL, John. Tratamiento de Aguas Negras y Efluentes Industriales. Segunda edición. España. Gamma. 2002.

AWWA. Standard methods of examination of water of wastewater. New Jersey: AWWA, 1995.

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO y MINISTERIO DE DESARROLLO. Seminario internacional de regulación de agua potable y saneamiento básico. 2001

BELTRÁN, Martha y ESCOBAR, Sonia. Evaluación técnico – económica de la reutilización del agua de lavado de filtros en la planta Tibitoc. Santa Fe de

Bogotá, 1997. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería Química.

BOUSON J.L. Tratamiento de efluentes con sólidos en suspensión. Revista Ingeniería Química. N°423. Abril de 2005.

CONTRALORÍA GENERAL DE CUNDINAMARCA, Estado de los recursos naturales y del medio ambiente. Bogotá D.C: 1999.

DEGRÉMONT. Manual Técnico del Agua. España: S.A.E. de Depuración de aguas. DEGRÉMONT. Cuarta Edición, 1979.

ESCOBAR RIVERA, Juan Carlos. Gestión Integral de Manejo de Lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Potable. Curso de Operación de Plantas de Potabilización de Agua. ACODAL. Santa Fe de Bogotá, Agosto 9 al 13 de 2004.

GARCÍA DIAZ, Rafael. Manual de Formulas de Ingeniería. México D.F.: Limusa Noriega Editores 2002

HAMER, Mark and HAMER, Mark Jr. Water and Wastewater Technology. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

HARDENBERGW, Rodie, Water Supply and Waste Disposal. International Textbook. 1976

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Documentación: presentación de tesis, trabajos de grados y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: ICONTEC. 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN.  
Metrología: Sistema Internacional de Unidades. NTC 1000. Bogotá D.C.:  
ICONTEC. 2004.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN.  
Referencias bibliográficas: contenido, forma y estructura. NTC 5613 Bogotá  
D.C.: ICONTEC. 2008.

LÓPEZ CUALLA, Ricardo. Elementos de diseño para acueductos y  
alcantarillados, segunda edición. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería,  
2006.

METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido  
y reutilización. Madrid: McGraw – Hill, 1995. v. 1 y 2.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, Dirección de Agua Potable y  
Saneamiento Básico, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y  
Saneamiento Básico RAS – 2000 Bogotá D.C., Noviembre de 2000.

MINISTERIO DE SALUD DE COLOMBIA. Decreto 475 de Marzo 10 de 1998.  
Bogotá. 1998.

MINISTERIO DE SALUD. Decreto 1594. Santa Fe de Bogotá: MIN SALUD,  
1984

NAVARRO Oscar Manuel. Acondicionamiento de Lodos Producidos en el  
Tratamiento de Agua Potable. SANTIAGO. CHILE.

RITTMAN, Bruce y MCCARTY, Perry. Biotecnología del medio ambiente  
principios y aplicaciones. California: McGraw – Hill, 2001.

RODRÍGUEZ PEÑA, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua potable, primera edición. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación del agua, segunda edición. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006.

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA, Guía para la elaboración de proyectos de investigación en Ingeniería. Primera edición. Bogotá D.C. 2004



## INFOGRAFÍA.

[En línea].

<[http://gavilan.uis.edu.co/~ldonado/HA\\_2008\\_II/pps/Clase%2011.pdf](http://gavilan.uis.edu.co/~ldonado/HA_2008_II/pps/Clase%2011.pdf)> [citado miércoles 29 de febrero de 2012]

[En línea].

<[http://www.dane.gov.co/daneweb\\_V09/index.php?option=com\\_content&view=article&id=75&Itemid=72](http://www.dane.gov.co/daneweb_V09/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=72)> [citado martes 3 de mayo de 2011]

[En línea].

<[http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL\\_PDF\\_CG2005/25430T7T000.PDF](http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/25430T7T000.PDF)> [citado martes 3 de mayo de 2011]

[En línea].

<<http://www.moore.com.co/manual%20hidraulico/capitulo%201.htm>> [citado sábado 9 de agosto de 2012]

[En línea]. <<http://moore.com.co/manual%20hidraulico/capitulo%202.htm>>

[citado sábado 9 de agosto de 2012]

[En línea].

<<http://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/30/30673/tema5 analisis de aguas.pdf>> [citado sábado 9 de agosto de 2012]

[En línea].

<<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r33282.PDF>>

[citado viernes 10 de mayo de 2013]

[En línea].

<<http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=1296&con>

ID=7918> [citado miércoles 12 de junio de 2013]

# ***ANEXOS***

**ANEXO A**

**Boletín Censo General 2005**

Perfil Municipal  
MADRID

Director Departamento  
Héctor Maldonado  
Gómez

Subdirector  
Carlos Eduardo  
Sepúlveda Rico

Director de Censos y  
Demografía  
Bernardo Guerrero  
Lozano

### Viviendas, Hogares y Personas

Área	Viviendas Censo	Hogares General	Personas 2005	Proyección Población 2010
Cabecera	8.074	14.343	53.181	60.727
Resto	2.187	2.140	8.418	9.317
Total	10.261	16.483	61.599	70.044

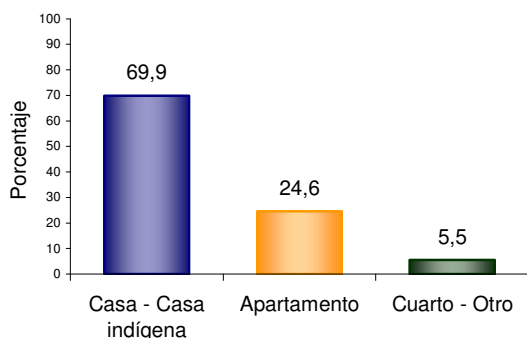
### Personas en NBI (30 Junio 2010)

Área	Prop (%)	Cve (%) *
Cabecera	13,66	9,53
Resto	13,36	14,30
Total	13,62	8,48

(\*El guiñon (--) significa que al 100% de las personas se les aplicó esta pregunta por tanto no tiene Cve.

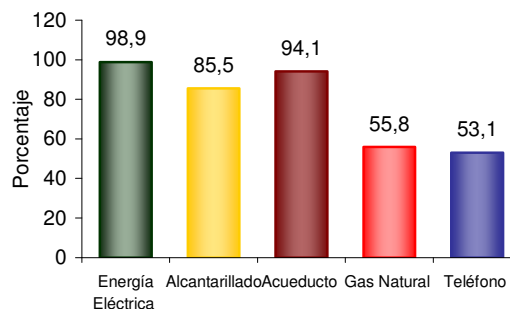
## 1. Módulo de Viviendas

### Tipo de vivienda



El 69,9% de las viviendas de MADRID son casas.

### Servicios con que cuenta la vivienda

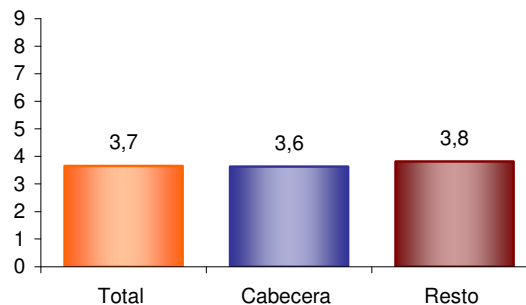


En MADRID el 98,9% de las viviendas tiene conexión a Energía Eléctrica .

El 55,8% tiene conexión a Gas Natural .

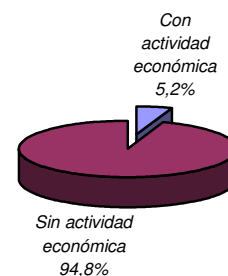
## 2. Módulo de Hogares

### Promedio de personas por hogar



El Promedio de personas por hogar en MADRID es de 3,7.

### Hogares Con actividad Económica



El 5,2% de los hogares tiene actividad económica en sus viviendas.



Para mayor información  
visite  
nuestra página web  
[www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)

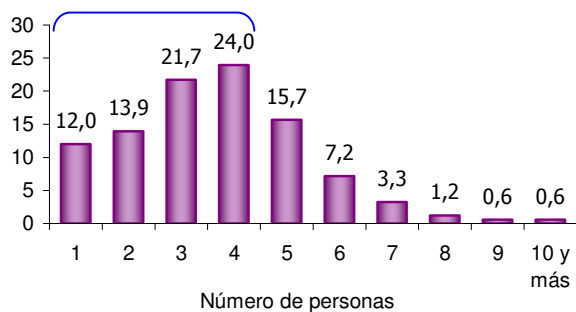
Perfil Municipal  
MADRID

Director Departamento  
**Héctor Maldonado  
Gómez**

Subdirector  
**Carlos Eduardo  
Sepúlveda Rico**

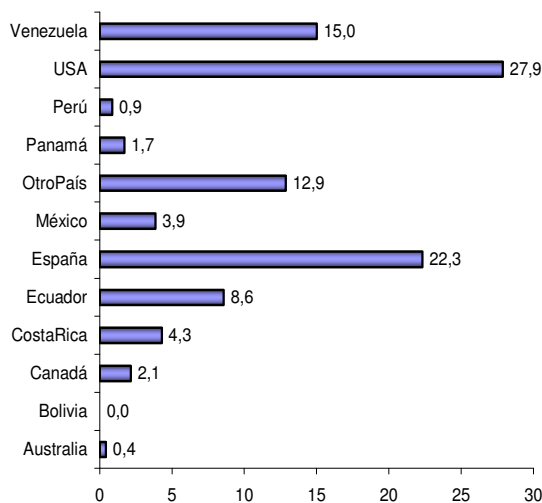
Director de Censos y  
Demografía  
**Bernardo Guerrero  
Lozano**

### Hogares según número de personas



Aproximadamente el 71,6% de los hogares de **MADRID** tiene 4 o menos personas.

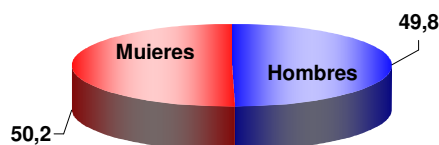
### Personas viviendo en el exterior



Se evidencia:  
Del total de hogares el 0,9% tiene experiencia migratoria internacional.  
Del total de personas de estos hogares, residentes de forma permanente en el exterior el 27,9% está en USA, el 22,3% en España y el 15,0% en Venezuela.

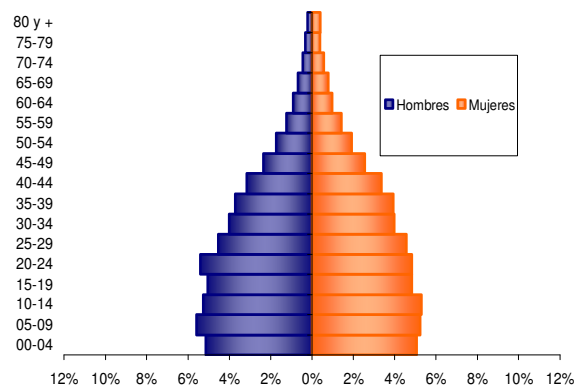
## 3. Módulo de Personas

### Población por sexo

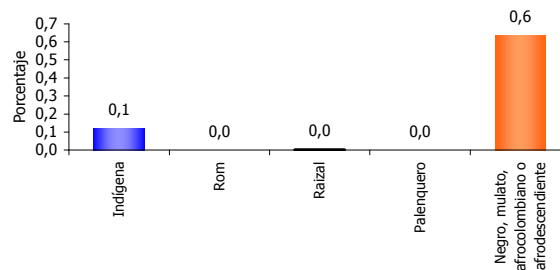


Del total de la población de **MADRID** el 49,8% son hombres y el 50,2% mujeres.

### Estructura de la población por sexo y grupos de edad

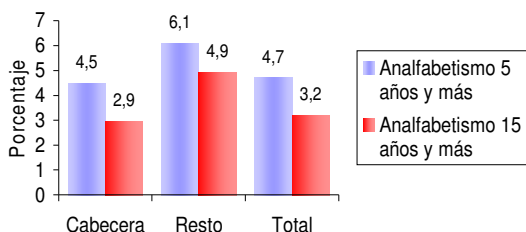


### Pertenencia étnica



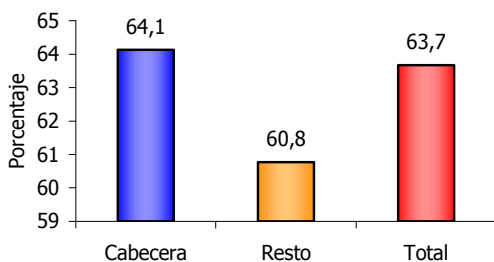
El 0,6% de la población residente en **MADRID** se auto reconoce como **Negro, mulato, afrocolombiano o afrodescendiente**.

### Tasa de Analfabetismo, población de 5 años y más y 15 años y más, cabecera resto



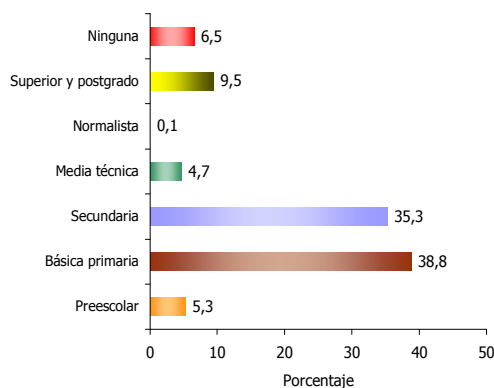
El 4,7% de la población de 5 años y más y el 3,2% de 15 años y más de MADRID no sabe leer y escribir.

### Asistencia escolar, población de 3 a 24 años



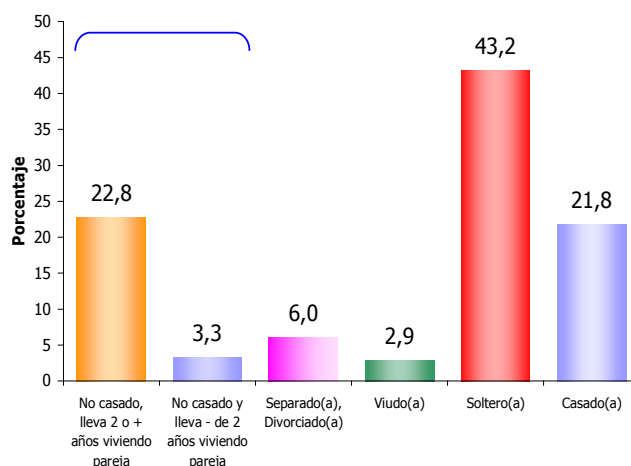
El 64,1% de la población en cabecera de 3 a 24 años asiste a un establecimiento educativo formal.

### Nivel educativo



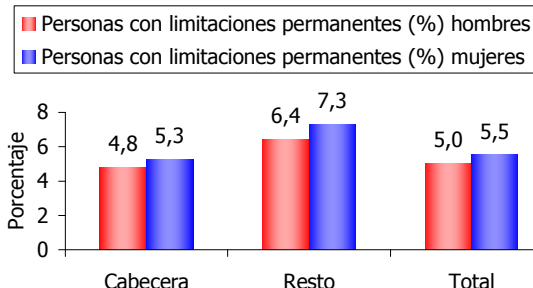
El 38,8% de la población residente en MADRID, ha alcanzado el nivel básica primaria; el 35,3% ha alcanzado secundaria y el 9,5% el nivel superior y postgrado. La población residente sin ningún nivel educativo es el 6,5%.

### Estado conyugal 10 años y más



El 43,2% de las personas de 10 años y más de MADRID tienen estado conyugal Soltero(a) y el 26,2% Unión Libre.

### Prevalencia de limitaciones permanentes por sexo



El 5,5% de las mujeres y el 5,0% de los hombres presenta alguna limitación permanente.

#### Perfil Municipal MADRID

Director Departamento  
**Héctor Maldonado Gómez**

Subdirector  
**Carlos Eduardo Sepúlveda Rico**

Director de Censos y Demografía  
**Bernardo Guerrero Lozano**



Para mayor información visite nuestra página web [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)

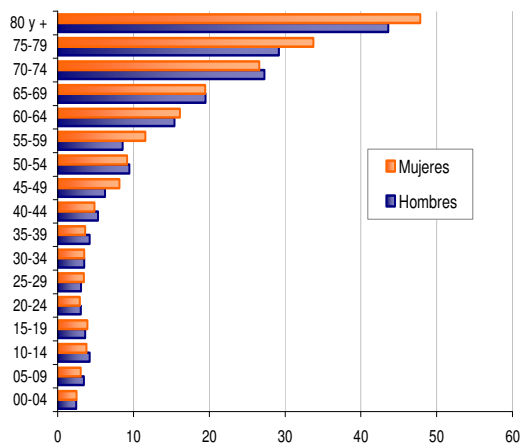
Perfil Municipal  
MADRID

Director Departamento  
**Héctor Maldonado  
Gómez**

Subdirector  
**Carlos Eduardo  
Sepúlveda Rico**

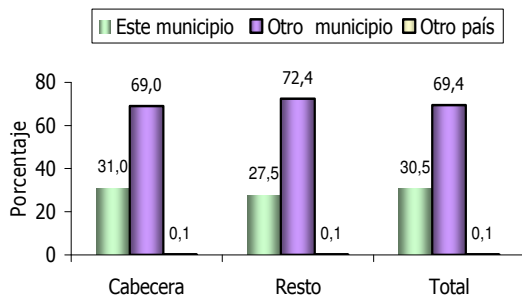
Director de Censos y  
Demografía  
**Bernardo Guerrero  
Lozano**

### Prevalencia de limitaciones permanentes por grupos de edad y sexo.



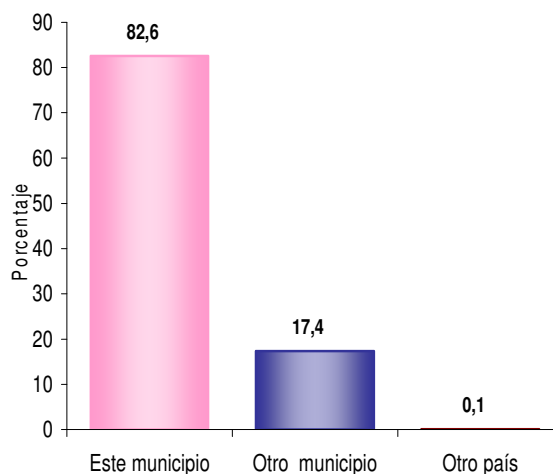
Las limitaciones permanentes aumentan con la edad. El 60% de la población en esta condición se presenta a partir de los 40 años.

### Distribución de la población según lugar de nacimiento



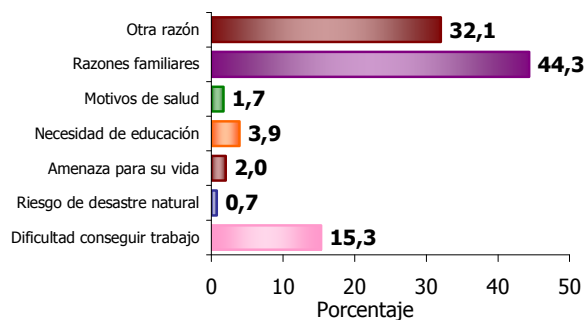
El 69,5% de la población de **MADRID** nació en otro municipio o en otro país.

### Residencia de 5 años antes (Población de 5 años y más)



El 17,4% de la población de 5 años y más que reside actualmente en este municipio procede de otro municipio y el 0,1 % de otro país.

### Causa cambio de residencia durante los últimos cinco años



El 15,3% de la población de **MADRID** que cambió de residencia en los últimos cinco años, lo hizo por Dificultad para conseguir trabajo; el 44,3% lo hizo por Razones familiares; el 32,1% por Otra razón y el 2,0% por Amenaza para su vida.



Para mayor información  
visite  
nuestra página web  
[www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)



Perfil Municipal  
MADRID

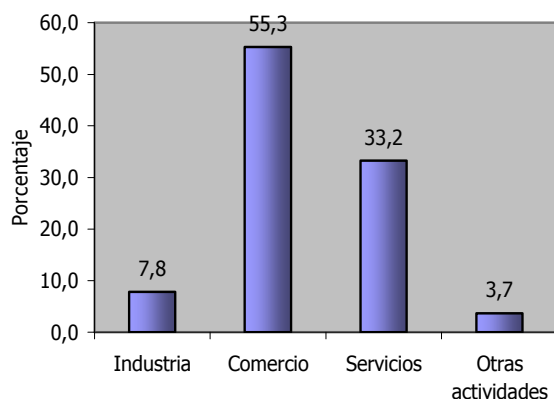
Director Departamento  
**Héctor Maldonado  
Gómez**

Subdirector  
**Carlos Eduardo  
Sepúlveda Rico**

Director de Censos y  
Demografía  
**Bernardo Guerrero  
Lozano**

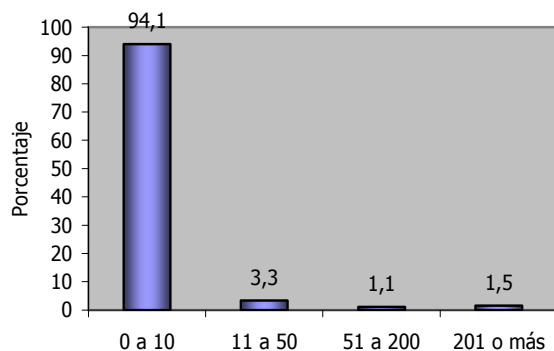
### 4. Módulo de Económicas

#### Establecimientos según actividad económica



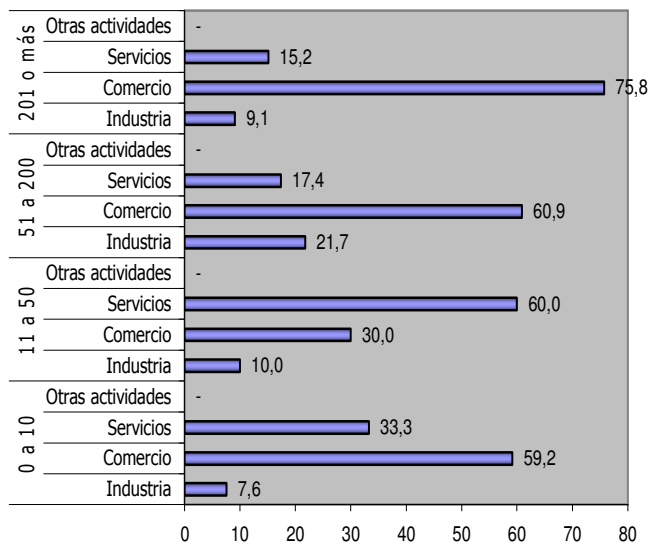
El 7,8% de los establecimientos se dedica a la industria; el 55,3% a comercio; el 33,2% a servicios y el 3,7% a otra actividad.

#### Establecimientos según escala de personas ocupadas el mes anterior al censo



El 94,1% de los establecimientos ocupó entre 1 y 10 empleados el mes anterior al censo.

#### Establecimientos según escala de personal por actividad económica



En los establecimientos del grupo con 0-10 empleados, el Comercio (59,2%) es la actividad más frecuente y en el grupo de 11 a 50 empleados la actividad Servicios representa el 60,0%.



Para mayor información  
visite  
nuestra página web  
[www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)

Perfil Municipal  
MADRID

Director Departamento  
Héctor Maldonado  
Gómez

Subdirector  
Carlos Eduardo  
Sepúlveda Rico

Director de Censos y  
Demografía  
Bernardo Guerrero  
Lozano

## GLOSARIO

**NBI:** índice tradicionalmente utilizado en el país para el análisis de la pobreza a nivel regional. En concreto, el índice NBI es una medida de incidencia de la pobreza: dice cuántos pobres hay. Según esta metodología, se definen como pobres todas las personas que habitan en vivienda con una o más de las siguientes características:

- i. Viviendas inadecuadas para habitación humana en razón de los materiales de construcción utilizados.
- ii. Viviendas con hacinamiento crítico. (Más de tres personas por cuarto de habitación).
- iii. Vivienda sin acueducto o sanitario
- iv. Viviendas con alta dependencia económica (más de tres personas por miembro ocupado) y el jefe hubiera aprobado como máximo dos años de educación primaria.
- v. Viviendas con niños entre 6 y 12 años que no asistieran a la escuela.

**Coefficiente de variación estimado (Cve):** Es la forma de medir la calidad de la estimación obtenida a partir de una muestra probabilística.

**Municipio:** de acuerdo con el Artículo 311 de la actual Constitución Política de Colombia y la Ley 136 de Junio 2 de 1994, es la entidad territorial fundamental de la división político-administrativa del Estado, con autonomía política, fiscal y administrativa dentro de los límites que le señalen la Constitución y las leyes de la República.

**Cabecera municipal:** delimitación geográfica definida por el DANE para fines estadísticos, alusiva al área geográfica delimitada por el perímetro censal. A su interior se localiza la sede administrativa del municipio, es decir la Alcaldía.

**Resto del municipio:** delimitación geográfica definida por el DANE para fines estadísticos, alusiva al área geográfica comprendida entre el Perímetro Censal y el Límite Municipal definido por Ordenanza de la Asamblea Departamental.

**Personas con limitaciones:** son aquellas que como consecuencia de problemas en su cuerpo o sus funciones corporales, presentan dificultades en el momento de realizar sus actividades cotidianas en el hogar, la escuela, el trabajo, al practicar un deporte, etc.

**Nivel educativo:** se refiere al grado de escolaridad más alto al cual ha llegado la persona de acuerdo con los niveles del sistema educativo formal: preescolar, básica en sus niveles de primaria, secundaria, media y superior.

**Pertenencia étnica:** En Colombia las personas se pueden identificar como pertenecientes a uno de los grupos étnicos reconocidos legalmente (indígenas, ROM o gitanos, raizales del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, palenqueros de San Basilio y afrocolombianos). El criterio empleado en el Censo General 2005 para captar la pertenencia étnica de las personas es el auto reconocimiento por sus costumbres o tradiciones o por sus rasgos físicos.



Para mayor información  
visite  
nuestra página web  
[www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)

**ANEXO B**

Reporte Inicial Visita de Campo

Septiembre 5 de 2012

## **ACTA DE VISITA DE CAMPO**

El día miércoles 5 de septiembre de 2012 se realizó una visita a las instalaciones de la planta de agua potable (PTAP) de la E.A.A.M.E.S.P por parte del Ingeniero Ernesto Torres Quintero (Docente de la Universidad Libre y director del proyecto) y el estudiante Nicolas Rodríguez Torres (Elaborador del proyecto de grado), con el fin de identificar y corroborar el alcance y el diseño de la propuesta desarrollada para establecer la metodología para el tratamiento de lodos utilizando como caso piloto la PTAP del municipio de Madrid, Cundinamarca.



Vista General de la PTAP

La visita autorizada por el Gerente de la Empresa de Acueducto el Sr. Jorge Ortiz, vigilada por la Ingeniera Maria Jose Pinzón y atendida por El Sr. German Gómez quien actualmente trabaja como analista de laboratorio y quien cuenta con mas de 20 años de experiencia y conocimiento del funcionamiento del sitio.



Río Subachoque



Aireador





Pozos de abastecimiento



Punto de mezcla



Floculador y sedimentador.



Filtros de taza alta.

La información suministrada por el Sr. Gómez es utilizada en el capítulo 7 del proyecto de grado “Propuesta Metodológica para El Tratamiento de Lodos Provenientes de Plantas de Potabilización en La Sabana de Bogotá” junto con el registro fotográfico tomado en campo como información de línea base para el desarrollo del mismo.

## **ANEXO C**

### **Datos Iniciales de Operación de la Planta**



MUNICIPIO: MADRID  
DEPARTAMENTO: CUNDINAMARCA

INFORMACIÓN GENERAL

Población En cabecera	Censo / 93	Proyección / 2007	Proyección / 2012	Suscriptores Acueducto / 1996
	16584	61599	78315	5241

Servicios Prestados	Entidad Prestadora	Tipo Entidad	NUIR
Acueducto	Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid EAAM ESP	Empresa Ind y Cial del Estado	12543000001
Alcantarillado	Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid EAAM ESP	Empresa Ind y Cial del Estado	12543000001
Aseo	Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Madrid EAAM ESP	Empresa Ind y Cial del Estado	12543000001

COMPONENTES SISTEMA DE ACUEDUCTO

Captación: Superficial  Subterránea  Caudal medio captado Lps: 135

Longitud Total Conducción de agua cruda Km	Plantas de Tratamiento	Caudal Promedio Tratado Lps	Desinfección Únicamente	Almacenamiento Total M3	Longitud Total red de Distribución Km
1.1	2	80	No	3790	44.25

COMPONENTES SISTEMA DE ALCANTARILLADO

Longitud Total de Colectores Km	Tratamiento de Aguas Residuales	Tipo Tratamiento	Caudal Medio Tratado o Vertido Lps
15.18	No tiene	No aplica	No disponible

COMPONENTES SISTEMA DE ASEO

Barrido	Recolección Estimada de basuras Ton/ semana	Tipo Disposición Final	Tratamiento de Lixiviados
Todo el municipio	160	No tiene a su cargo la disposición final de las basuras	No aplica

CURSOS / CUERPOS DE AGUA AFECTADOS

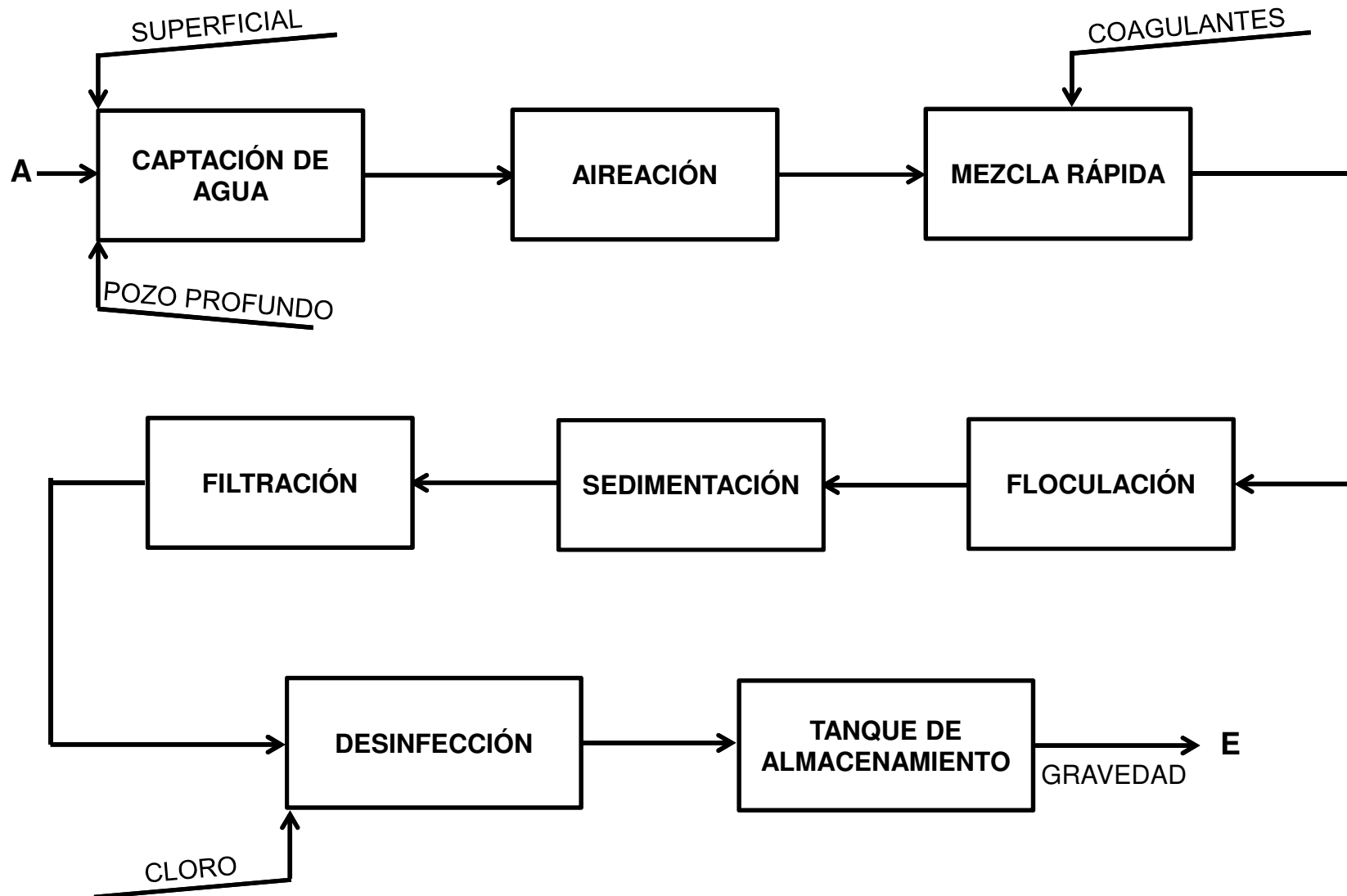
Número de Fuentes	Nombre	Caudal Medio Captado Lps
4	Río Subachoque	55
	Pozo el Sosiego	20
	Pozo Luzitauna	25
	Pozo Planta	35

Número de Cuerpos Receptores	Nombre	Caudal medio vertido Lps
1	Río Subachoque	No disponible

## **ANEXO D**


### **Esquema Sistema de Potabilización PTAP Madrid**

# Esquema Sistema de Potabilización PTAP Madrid Cundinamarca



**ANEXO E**

**Procedimientos de la E.A.A.A.M.**

	<b>LAVADO DE PLANTA</b>		Cód. Documento I Pt-11
	Fecha de emisión: 27-11-2006	Versión: 02	Página: 1 de 2

### 1. OBJETO

Establecer los pasos a seguir en el lavado de la planta de tratamiento.

### 2. ALCANCE

Aplica para todos los puntos de tratamiento de la EAAAM.

### 3. RESPONSABLE

El operador de turno.

### 4. DEFINICIONES

- 4.1. **MODULO DE SEDIMENTACION:** Paneles contruidos en forma de tubos consecutivos con un nivel de inclinación de 60°, que aceleran el proceso de sedimentación. Son fabricados en poliestireno de alto impacto o en ABS, materiales de alta resistencia e inertes al ataque de agentes quimicos.

### 5. CONDICIONES GENERALES

De manera periódica, la jefatura de planta programará el lavado de las plantas de tratamiento. Por lo regular este lavado se efectúa dos veces en el mes, según la necesidad.

Adicionalmente, cada noche deberán ser desalojados los lodos de cada sedimentador, uno a la vez según la necesidad. En ese momento se lavan los módulos de sedimentación mediante aplicación de agua via balde o manguera.

Para la ejecución del lavado de planta, el día anterior al programado para el lavado, el auxiliar del laboratorio verificará la disponibilidad de la máquina hidrolavadora, la manguera, combustible, lubricante y escalera.

De acuerdo a la disponibilidad de tiempo y personal, el lavado se realizará en dos jornadas, así:


### 6. DESARROLLO

No.	DESCRIPCIÓN	ESQUEMA
1.	Se apaga un pozo. Se debe apagar siempre aquel cuyo caudal sea menor para disminuir el consumo de agua en bloque, durante el tiempo en el que se lave la planta.	
2.	Se deja bajar el sedimentador hasta que ya no pase más agua a filtración	
3.	Se cierra el ingreso de agua a la parte de	

	<b>LAVADO DE PLANTA</b>		Cód. Documento IPT-11
	Fecha de emisión: 27-11-2006	Versión: 02	Página: 2 de 2

	la planta que se vaya a lavar.	
4.	Se suspende la entrada de floculación que se encuentra en la parte lateral derecha la cual tiene una válvula de mariposa para cerrar la entrada al floculador y se cierra la válvula que comunica los floculadores para la salida a sedimentación la cual se encuentra en la parte superior del corredor que separa los floculadores de los sedimentadores.	
5.	Se abre la válvula para desocupar el sedimentador y se desalojan los lodos.	
6.	Se inicia el lavado por las pantallas del sedimentador luego se lavan las paredes y el piso del sedimentador.	
7.	Se lavan las paredes del floculador y las canaletas laterales de la planta.	
8.	Una vez se termina el lavado se abren las válvulas de mariposa para que se inicie nuevamente el ingreso de agua al floculador y al sedimentador y se proceda al tratamiento	
9.	Se recogen todos los elementos que se utilizaron para el lavado y se entregan al almacén en perfecto estado de orden y limpieza.	

El lavado de la torre de aireación se realizará cada dos meses, o cuando lo programe la jefatura de planta. Este lavado no afectará la normal operación de la planta.

	<b>ENSAYO DE JARRAS</b>		Cód. Documento I Pt-05
	Fecha de emisión: 27-11-2006	Versión: 02	Página: 1 de 5

## 1. OBJETO

Establecer los lineamientos para la correcta realización de un ensayo de jarras llevado a cabo en los puntos de tratamiento pertenecientes a la EAAAM.

## 2. ALCANCE

Aplica para la potabilización del agua cruda, en cualquiera de las plantas de tratamiento de la EAAAM.

## 3. RESPONSABLE

El operador de planta en turno.

## 4. DEFINICIONES

- 4.1 **Agua cruda:** Término empleado para catalogar el agua que no ha pasado por proceso de tratamiento alguno.
- 4.2 **Agua tratada:** Término empleado para catalogar el agua que ha pasado por un proceso de tratamiento.
- 4.3 **Coagulante:** Es toda sustancia que al aplicarse al agua reacciona con las impurezas que ella tiene, para formar floculos (grumos) que al adherirse uno con otro o individualmente, por efecto de su peso se depositan en el fondo de un tanque (sedimentador). La cantidad de coagulante requerida depende de la turbiedad, color, alcalinidad y el pH del agua cruda.
- 4.4 **Ensayo de jarras:** O ensayo de dosis óptima, determina la dosificación de coagulantes necesarios para el proceso de potabilización del agua, simulando las condiciones en que se realizan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Es la principal herramienta de trabajo para el control de la operación de las plantas.


## 5. CONDICIONES GENERALES

A continuación se presenta los pasos a seguir en la realización del ensayo de jarras. El conocimiento y destreza para realizar el ensayo son fundamentales para determinar la dosis óptima de coagulante a aplicar al agua. Se considera que es una labor fundamental para lograr buenos niveles de eficiencia con químicos.

El tratamiento del agua en los puntos de potabilización de la EAAAM emplea dos tipos de coagulantes principalmente, el sulfato de aluminio y el hidroxiclóruo de aluminio, hacia su empleo se plantea el desarrollo del presente instructivo.

El operador necesita contar con un análisis físico-químico del agua cruda, con el objeto de establecer las cantidades aproximadas de coagulantes que debe aplicar al ensayo; dentro de estos análisis quizá el de mayor relevancia es la determinación de la turbiedad, ya que es el que más variaciones presenta, por ello deberá apoyarse en el Pt-03, Análisis Básico de Agua.

Para la ejecución del ensayo, el operador debe contar con los siguientes elementos:

	<b>ENSAYO DE JARRAS</b>		Cód. Documento I Pt-05
	Fecha de emisión: 27-11-2006	Versión: 02	Página: 2 de 5

- Reloj o un cronómetro
- Una probeta de 1000 mL
- Balanza de precisión de 1 gr. a 100 gr.
- Espátulas.
- Jeringas desechables de 1 mL
- Pipetas graduadas de 10 mL
- Equipo de ensayo de jarras

Los reactivos que se utilizan en el ensayo de jarras son:

- **1 litro de solución de sulfato de aluminio al 1%.**  
Se toman y pesan 10 gr. del alumbre que se está dosificando en la planta y se transfieren a un vaso de precipitado y se disuelven con agua destilada o con agua tratada. Esta solución se transfiere a un elenmeyer de 1000 ml se completa el volumen con agua hasta los 1000 ml y se homogeniza la solución agitando la mezcla. La solución tendrá una duración de máximo una semana, al cabo de la cual el excedente será depositado en el desagüe.


LA SOLUCIÓN SERÁ PREPARADA EL DIA LUNES DE CADA SEMANA (a menos que se agote antes de terminar la semana) POR EL OPERADOR DE PLANTA DEL TURNO DE LA MAÑANA. TENDRÁ LA ETIQUETA CON LOS DATOS: NOMBRE DE LA SOLUCIÓN, NOMBRE DEL OPERADOR FECHA, HORA Y CONCENTRACIÓN. PRESERVAR LEJOS DE LA LUZ Y HOMOGENIZAR ANTES DE USAR.

Durante la época en la que el agua del río no sea parte del proceso de potabilización, no se preparará esta solución.

- **250ml de la Solución de hidroxiclورو de aluminio al 10%.**  
La presentación en estado líquido indica que son necesarios 19.2 ml del hidroxiclورو de aluminio que se está dosificando en la planta (densidad 1.3 g/ml). Se transfieren a un vaso de precipitado y se disuelven con agua destilada o con agua tratada. Esta solución se transfiere a un elenmeyer de 250 ml se completa el volumen con agua hasta los 250 ml y se homogeniza la solución agitando la mezcla. La solución tendrá una duración de máximo una semana, al cabo de la cual el excedente será depositado en el desagüe.

LA SOLUCIÓN SERÁ PREPARADA EL DIA LUNES DE CADA SEMANA (a menos que se agote antes de terminar la semana) POR EL OPERADOR DE PLANTA DEL TURNO DE LA MAÑANA. TENDRÁ LA ETIQUETA CON LOS DATOS: NOMBRE DE LA SOLUCIÓN, NOMBRE DEL OPERADOR FECHA, HORA Y CONCENTRACIÓN. PRESERVAR LEJOS DE LA LUZ Y HOMOGENIZAR ANTES DE USAR.



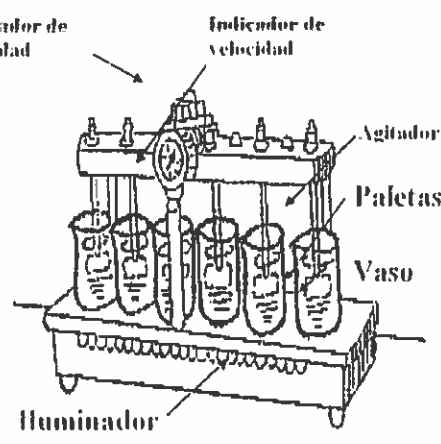
	<b>ENSAYO DE JARRAS</b>		Cód. Documento I Pt-05
	Fecha de emisión: 27-11-2006	Versión: 02	Página: 3 de 5


Es importante que se tengan en cuenta las siguientes precauciones:

- **Volumen de las jarras:** Medir el volumen cuidadosamente, todos los vasos deben contener el mismo volumen. Mejores resultados se obtienen con volúmenes mayores, en lo posible de dos litros.
- **Temperatura:** la prueba debe realizarse en lo posible, a la misma temperatura del agua en la planta de tratamiento.
- **Adición de coagulantes:** Los coagulantes deben suministrarse en el mismo orden en que se agregan en la planta de tratamiento y simultáneamente en todas las jarras.
- **Forma de hacer el ensayo:** Los recipientes (vasos, baldes) en los cuales se van a tomar las muestras deben lavarse previamente con la misma agua que se va utilizar en el ensayo.
- **Tiempo de agitación:** Se deben conocer los tiempos de agitación, floculación y sedimentación de la planta para utilizarlos en el ensayo.

## 6. DESARROLLO

**TODOS LOS DÍAS, SIN EXCEPCIÓN, DEBERÁ EJECUTARSE UN ENSAYO DE JARRAS, EN EL TURNO DE LA MAÑANA, Y DURANTE EL DIA SE REALIZARAN TODOS LOS QUE SEAN NECESARIOS SEGÚN CAMBIEN LAS CONDICIONES DEL AGUA CRUDA.**

No.	DESCRIPCIÓN	ESQUEMA
1.	Verifique la operación del equipo agitador de paletas.	
2.	Aliste las jarras para el ensayo, 5 o 6, según se disponga.	
3.	Realice los análisis de agua cruda según I Pt-03. Y consígnelos en el formato F Pt-05.	
4.	Mida dos (2) litros de agua cruda y adiciónelos a cada una de las jarras.	
5.	Baje las paletas y verifique que lleguen hasta la mitad del agua.	
6.	Aliste la solución del primer coagulante teniendo como referencia el ensayo de jarras anterior y las características de la muestra de agua cruda. La dosificación de cada jarra se consigna en el F Pt-05.	

	<b>ENSAYO DE JARRAS</b>		Cód. Documento I Pt-05
	Fecha de emisión: 27-11-2006	Versión: 02	Página: 4 de 5

7.	Aliste la solución del segundo coagulante (si es necesario), teniendo como referencia el ensayo de jarras anterior y las características de la muestra de agua cruda. La dosificación de cada jarra se consigna en el F Pt-05.	
8.	Adicione el (los) coagulantes de cada jarra, en lo posible de manera simultanea.	
9.	Inicie la agitación por un (1) minuto a 100 rpm.	
10.	Regule la agitación por 15 minutos a 40 rpm.	
11.	Apague el equipo y levante las paletas.	
12.	Deje en reposo por un espacio de 20 minutos. Se debe determinar la jarra en la cual se formó el primer floc y de mayor uniformidad.	
13.	Tome muestras del líquido clarificado en cada jarra y evalúe el color y la turbiedad. La dosis óptima de coagulante será el resultado de la dosis para la cual se obtiene un floc bien acondicionado, que sedimenta rápidamente y que presenta la menor turbiedad y el menor color en el sobrenadante.	
14.	Complete los resultados en el formato F Pt-05.	
15.	Desocupe las jarras y lave todo el equipo, dejándolo listo para un próximo ensayo.	

Finalmente, la dosis óptima ya hallada se traslada a la dosificación del coagulante en planta. La siguiente es una muestra de los cálculos involucrados:


#### EJEMPLO 1:

Jarra óptima (2 litros), a la cual se habían adicionado 3.8 ml sol 1% sulfato de aluminio (19 ppm) y 0.12 ml sol 10% hidroxloruro de aluminio (6 ppm).

Dosificación en planta, asumiendo un caudal de agua tratada de 70 litros por segundo:

$$\text{g sulfato/min.} = 3.8 \text{ ml sol} / 2 \text{ litros} * 1 \text{ g sulfato} / 100 \text{ ml sol} * 70 \text{ litros} / 1 \text{ s} * 60 \text{ s} / 1 \text{ min.} = 79.8 \text{ g sulfato/min.}$$

$$\text{ml hidrox/ min.} = 0.12 \text{ ml sol} / 2 \text{ litros} * 10 \text{ g hidrox} / 100 \text{ ml sol} * 1 \text{ ml} / 1.3 \text{ g hidrox} * 70 \text{ litros} / 1 \text{ s} * 60 \text{ s} / 1 \text{ min.} = 19.4 \text{ ml hidrox/min.}$$

	<b>ENSAYO DE JARRAS</b>		Cód. Documento I Pt-05
	Fecha de emisión: 27-11-2006	Versión: 02	Página: 5 de 5

**EJEMPLO 2:**


Ahora un ejemplo del caso contrario, se quiere determinar cual es la dosificación en ppm de un coagulante, conociendo la descarga actual y el caudal tratado:

a. Descarga de hidroxidocloruro actual: 35ml/min                      Caudal tratado: 59 l/s

$$\begin{aligned} \text{Dosis en ppm (g hidrox/m}^3\text{)} &= 35\text{ml hidrox /min} * 1.3\text{g hidrox/ml hidrox} * 1\text{min}/60\text{ls} * 1\text{s}/59\text{l} * 1000\text{l}/1\text{m}^3 \\ &= 12.8 \text{ ppm (12.8 g hidrox/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

b. Descarga de Sulfato de aluminio actual: 105 g/min                      Caudal tratado: 89 l/s

$$\begin{aligned} \text{Dosis en ppm (g sulfato/m}^3\text{)} &= 105\text{g sulfato /min} * 1\text{min}/60\text{ls} * 1\text{s}/89\text{l} * 1000\text{l}/1\text{m}^3 \\ &= 19.7 \text{ ppm (19.7 g sulfato /m}^3\text{)} \end{aligned}$$

	<b>LAVADO DE FILTROS</b>		Cód. Documento I Pt-06
	Fecha de emisión: 27-11-2006	Versión: 02	Página: 1 de 2

## 1. OBJETO

Establecer los pasos a seguir en el lavado de los filtros de la EAAAM.

## 2. ALCANCE

Aplica para el tipo de filtro arena – antracita de alta tasa de filtración.

## 3. RESPONSABLE

El operador de turno.

## 4. DEFINICIONES

- 4.1. **Carrera de filtración:** Tiempo transcurrido entre cada lavado del lecho filtrante.
- 4.2. **Colmatación:** Proceso consistente en la pérdida de carga progresiva en la filtración.
- 4.3. **Filtración:** La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso o lecho filtrante. La filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad.
- 4.4. **Pérdida de carga:** Al pasar un fluido a través de un lecho filtrante granular la fricción que el fluido sufre al atravesar los poros produce una pérdida de carga. Al comenzar la operación de un filtro, los granos del lecho están limpios y la pérdida de carga se deberá solamente al tamaño, forma y porosidad del medio filtrante y a la viscosidad y velocidad del agua. Si el fluido no tuviera partículas en suspensión, esta pérdida de carga inicial será constante a través de toda la carrera de filtración. Pero, como ordinariamente contiene sólidos en suspensión, estos irán recubriendo los granos del lecho, incrementarán su diámetro y disminuirán su porosidad inicial, con lo que la pérdida de carga irá incrementándose por la disminución del área de paso del flujo.

## 5. CONDICIONES GENERALES

La Planta de Tratamiento Principal de la EAAAM cuenta con seis (6) filtros con una capacidad de filtración de 15 litros/segundo. El lavado de cada uno se realiza aproximadamente cada doce (12) horas dependiendo de la cantidad y calidad del agua que se esté tratando.

Para ejecutar el lavado, el operador debe considerar que requiere que el tanque elevado de la planta, contenga la cantidad de agua suficiente, o que la bomba No. 2 de la red esté disponible. La decisión final de ejecutar el lavado dependerá de cualquiera de los siguientes tres factores: Incremento del nivel de turbiedad del agua filtrada, colmatación del lecho filtrante y por tanto disminución de la tasa de filtración o cumplimiento de 24 horas de carrera de filtración.



## LAVADO DE FILTROS

Cód. Documento  
I Pt-06

Fecha de emisión: 27-11-2006

Versión: 02

Página: 2 de 2

### 6. DESARROLLO

Los pasos a seguir para el lavado de cada filtro es el siguiente:

No.	DESCRIPCION	ESQUEMA
1.	Cierre la válvula de afluencia de filtración y deje bajar el nivel del agua hasta que se descubra la antracita.	
2.	Cierre la válvula de efluencia de filtrado.	
3.	Abra la válvula de lavado superficial.	
4.	Abra la válvula posterior de la canaleta para que salga el agua del lavado.	
5.	Abra la válvula de salida del tanque elevado si este se encuentra en funcionamiento o en otro caso abra la válvula No. 2 de la red.	
6.	Realice un lavado superficial manual operando la manguera que se encuentra aledaña a los filtros, de manera que se retire la espuma generada, hasta dejar la superficie descubierta.	
7.	Cierre las válvulas de lavado superficial y manual, cuando el agua de retrolavado salga totalmente clara y sin floc.	
8.	Abra las válvulas de afluencia y efluencia.	
9.	Informe el tiempo y la cantidad de agua empleada en el lavado de cada filtro en el formato F Pt-01.	
10.	Lave las paredes de los filtros cada dos o tres semanas.	

**ANEXO F**

Ensayo de Jarras por Caudal Tratado

ENSAYO DE JARRAS

Caudal agua tratada	57.2 L/s		4,942.08 m <sup>3</sup> /día		
Prueba N°	Espesor de la capa de lodos (cm)	Altura agua en la jarra (cm)	Volumen de lodos en la jarra (m <sup>3</sup> )	Volumen de la jarra (m <sup>3</sup> )	Volumen diario de lodos (m <sup>3</sup> )
1	0,020	13,00	2,88E-06	1,87E-03	7,60
2	0,018	12,80	2,59E-06	1,84E-03	6,95
3	0,020	13,50	2,88E-06	1,94E-03	7,32
4	0,026	13,20	3,74E-06	1,90E-03	9,73
5	0,022	13,10	3,17E-06	1,89E-03	8,30
6	0,017	12,70	2,45E-06	1,83E-03	6,62
7	0,021	12,90	3,02E-06	1,86E-03	8,05
8	0,020	13,00	2,88E-06	1,87E-03	7,60
9	0,020	13,00	2,88E-06	1,87E-03	7,60
10	0,020	13,10	2,88E-06	1,89E-03	7,55
Promedio	0,020	13,03	2,94E-06	1,88E-03	7,73
Mediana	0,020	13,00	2,88E-06	1,87E-03	7,60
Moda	0,020	13,00	2,88E-06	1,87E-03	7,60
Desviacion estándar	2,41E-03	2,21E-01	3,47E-07	3,19E-05	8,53E-01

Caudal agua tratada	80 L/s		6,912.00 m <sup>3</sup> /día		
Prueba N°	Espesor de la capa de lodos (cm)	Altura agua en la jarra (cm)	Volumen de lodos en la jarra (m <sup>3</sup> )	Volumen de la jarra (m <sup>3</sup> )	Volumen diario de lodos (m <sup>3</sup> )
1	0,030	12,00	4,32E-06	1,73E-03	17,28
2	0,029	12,50	4,18E-06	1,80E-03	16,04
3	0,031	12,60	4,46E-06	1,81E-03	17,01
4	0,030	12,10	4,32E-06	1,74E-03	17,14
5	0,030	12,10	4,32E-06	1,74E-03	17,14
6	0,032	12,30	4,61E-06	1,77E-03	17,98
7	0,033	12,10	4,75E-06	1,74E-03	18,85
8	0,028	11,80	4,03E-06	1,70E-03	16,40
9	0,026	12,00	3,74E-06	1,73E-03	14,98
10	0,029	12,10	4,18E-06	1,74E-03	16,57
Promedio	0,030	12,16	4,29E-06	1,75E-03	16,94
Mediana	0,030	12,10	4,32E-06	1,74E-03	17,07
Moda	0,030	12,10	4,32E-06	1,74E-03	17,14
Desviacion estándar	1,99E-03	2,41E-01	2,86E-07	3,47E-05	1,06E+00

ENSAYO DE JARRAS

Caudal agua tratada	86 L/s		7,430.40 m <sup>3</sup> /día		
Prueba N°	Espesor de la capa de lodos (cm)	Altura agua en la jarra (cm)	Volumen de lodos en la jarra (m <sup>3</sup> )	Volumen de la jarra (m <sup>3</sup> )	Volumen diario de lodos (m <sup>3</sup> )
1	0,030	13,40	4,32E-06	1,93E-03	16,64
2	0,031	13,30	4,46E-06	1,92E-03	17,32
3	0,029	13,20	4,18E-06	1,90E-03	16,32
4	0,030	13,00	4,32E-06	1,87E-03	17,15
5	0,030	13,50	4,32E-06	1,94E-03	16,51
6	0,033	13,40	4,75E-06	1,93E-03	18,30
7	0,032	13,40	4,61E-06	1,93E-03	17,74
8	0,026	13,30	3,74E-06	1,92E-03	14,53
9	0,028	13,40	4,03E-06	1,93E-03	15,53
10	0,029	13,20	4,18E-06	1,90E-03	16,32
Promedio	0,030	13,31	4,29E-06	1,92E-03	16,64
Mediana	0,030	13,35	4,32E-06	1,92E-03	16,57
Moda	0,030	13,40	4,32E-06	1,93E-03	16,32
Desviacion estándar	1,99E-03	1,45E-01	2,86E-07	2,09E-05	1,09E+00

Caudal agua tratada	90 L/s		7,776.00 m <sup>3</sup> /día		
Prueba N°	Espesor de la capa de lodos (cm)	Altura agua en la jarra (cm)	Volumen de lodos en la jarra (m <sup>3</sup> )	Volumen de la jarra (m <sup>3</sup> )	Volumen diario de lodos (m <sup>3</sup> )
1	0,030	13,50	4,32E-06	1,94E-03	17,28
2	0,029	13,40	4,18E-06	1,93E-03	16,83
3	0,031	13,50	4,46E-06	1,94E-03	17,86
4	0,030	13,30	4,32E-06	1,92E-03	17,54
5	0,030	13,50	4,32E-06	1,94E-03	17,28
6	0,032	13,40	4,61E-06	1,93E-03	18,57
7	0,033	13,50	4,75E-06	1,94E-03	19,01
8	0,028	13,70	4,03E-06	1,97E-03	15,89
9	0,026	13,70	3,74E-06	1,97E-03	14,76
10	0,029	13,70	4,18E-06	1,97E-03	16,46
Promedio	0,030	13,52	4,29E-06	1,95E-03	17,15
Mediana	0,030	13,50	4,32E-06	1,94E-03	17,28
Moda	0,030	13,50	4,32E-06	1,94E-03	17,28
Desviacion estándar	1,99E-03	1,40E-01	2,86E-07	2,01E-05	1,25E+00



ENSAYO DE JARRAS

Caudal agua tratada	96 L/s		8,294.40 m <sup>3</sup> /día		
Prueba N°	Espesor de la capa de lodos (cm)	Altura agua en la jarra (cm)	Volumen de lodos en la jarra (m <sup>3</sup> )	Volumen de la jarra (m <sup>3</sup> )	Volumen diario de lodos (m <sup>3</sup> )
1	0,039	13,60	5,62E-06	1,96E-03	23,79
2	0,040	13,70	5,76E-06	1,97E-03	24,22
3	0,040	13,70	5,76E-06	1,97E-03	24,22
4	0,041	13,70	5,90E-06	1,97E-03	24,82
5	0,039	13,50	5,62E-06	1,94E-03	23,96
6	0,042	13,80	6,05E-06	1,99E-03	25,24
7	0,043	13,80	6,19E-06	1,99E-03	25,84
8	0,037	13,50	5,33E-06	1,94E-03	22,73
9	0,040	13,70	5,76E-06	1,97E-03	24,22
10	0,041	13,70	5,90E-06	1,97E-03	24,82
Promedio	0,040	13,67	5,79E-06	1,97E-03	24,39
Mediana	0,040	13,70	5,76E-06	1,97E-03	24,22
Moda	0,040	13,70	5,76E-06	1,97E-03	24,22
Desviacion estándar	1,69E-03	1,06E-01	2,43E-07	1,53E-05	8,57E-01

Caudal agua tratada	98 L/s		8,467.20 m <sup>3</sup> /día		
Prueba N°	Espesor de la capa de lodos (cm)	Altura agua en la jarra (cm)	Volumen de lodos en la jarra (m <sup>3</sup> )	Volumen de la jarra (m <sup>3</sup> )	Volumen diario de lodos (m <sup>3</sup> )
1	0,051	13,70	7,34E-06	1,97E-03	31,52
2	0,050	13,60	7,20E-06	1,96E-03	31,13
3	0,050	13,50	7,20E-06	1,94E-03	31,36
4	0,052	13,80	7,49E-06	1,99E-03	31,91
5	0,049	13,40	7,06E-06	1,93E-03	30,96
6	0,048	13,40	6,91E-06	1,93E-03	30,33
7	0,048	13,40	6,91E-06	1,93E-03	30,33
8	0,050	13,60	7,20E-06	1,96E-03	31,13
9	0,049	13,60	7,06E-06	1,96E-03	30,51
10	0,050	13,70	7,20E-06	1,97E-03	30,90
Promedio	0,050	13,57	7,16E-06	1,95E-03	31,01
Mediana	0,050	13,60	7,20E-06	1,96E-03	31,05
Moda	0,050	13,60	7,20E-06	1,96E-03	31,13
Desviacion estándar	1,25E-03	1,42E-01	1,80E-07	2,04E-05	5,17E-01

## **ANEXO G**

### **Cálculo de Densidad con Picnómetro**

CALCULO DE DENSIDAD CON PICNÓMETRO

Caudal agua tratada	57.2 L/s		4,942.08 m <sup>3</sup> /día	
Prueba N°	Masa picnómetro vacío (g)	Masa picnómetro con lodo (g)	Densidad (g/ml)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
1	20,30	46,12	1,033	1032,80
2	20,31	46,20	1,036	1035,60
3	20,32	46,10	1,031	1031,20
4	20,30	46,15	1,034	1034,00
5	20,30	46,20	1,036	1036,00
6	20,31	46,12	1,032	1032,40
7	20,30	46,15	1,034	1034,00
8	20,30	46,12	1,033	1032,80
9	20,32	46,13	1,032	1032,40
10	20,28	46,15	1,035	1034,80
Promedio	20,30	46,14	1,034	1033,60
Mediana	20,30	46,14	1,033	1033,40
Moda	20,30	46,12	1,033	1032,80
Desviación estándar	1,17E-02	3,37E-02	1,54E-03	1,54E+00

Caudal agua tratada	80 L/s		6,912.00 m <sup>3</sup> /día	
Prueba N°	Masa picnómetro vacío (g)	Masa picnómetro con lodo (g)	Densidad (g/ml)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
1	20,31	46,17	1,034	1034,40
2	20,32	46,20	1,035	1035,20
3	20,30	46,14	1,034	1033,60
4	20,30	46,15	1,034	1034,00
5	20,31	46,18	1,035	1034,80
6	20,32	46,19	1,035	1034,80
7	20,33	46,20	1,035	1034,80
8	20,30	46,14	1,034	1033,60
9	20,30	46,18	1,035	1035,20
10	20,29	46,14	1,034	1034,00
Promedio	20,31	46,17	1,034	1034,44
Mediana	20,31	46,18	1,035	1034,60
Moda	20,30	46,14	1,034	1033,60
Desviación estándar	1,23E-02	2,47E-02	6,10E-04	6,10E-01

Caudal agua tratada	86 L/s		7,430.40 m <sup>3</sup> /día	
Prueba N°	Masa picnómetro vacío (g)	Masa picnómetro con lodo (g)	Densidad (g/ml)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
1	20,31	46,26	1,038	1038,00
2	20,32	46,24	1,037	1036,80
3	20,30	46,25	1,038	1038,00
4	20,29	46,25	1,038	1038,40
5	20,29	46,24	1,038	1038,00
6	20,30	46,25	1,038	1038,00
7	20,31	46,25	1,038	1037,60
8	20,32	46,24	1,037	1036,80
9	20,31	46,24	1,037	1037,20
10	20,29	46,25	1,038	1038,40
Promedio	20,30	46,25	1,038	1037,72
Mediana	20,31	46,25	1,038	1038,00
Moda	20,31	46,25	1,038	1038,00
Desviación estándar	1,17E-02	6,75E-03	5,98E-04	5,98E-01

CALCULO DE DENSIDAD CON PICNÓMETRO

Caudal agua tratada	90 L/s		7,776.00 m <sup>3</sup> /día	
Prueba N°	Masa picnómetro vacio (g)	Masa picnómetro con lodo (g)	Densidad (g/ml)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
1	20,32	46,19	1,035	1034,80
2	20,31	46,20	1,036	1035,60
3	20,30	46,21	1,036	1036,40
4	20,33	46,18	1,034	1034,00
5	20,32	46,18	1,034	1034,40
6	20,32	46,19	1,035	1034,80
7	20,32	46,18	1,034	1034,40
8	20,31	46,19	1,035	1035,20
9	20,30	46,21	1,036	1036,40
10	20,33	46,20	1,035	1034,80
Promedio	20,32	46,19	1,035	1035,08
Mediana	20,32	46,19	1,035	1034,80
Moda	20,32	46,19	1,035	1034,80
Desviacion estándar	1,07E-02	1,16E-02	8,23E-04	8,23E-01

Caudal agua tratada	96 L/s		8,294.40 m <sup>3</sup> /día	
Prueba N°	Masa picnómetro vacio	Masa picnómetro con	Densidad	Densidad
1	20,32	46,14	1,033	1032,80
2	20,31	46,17	1,034	1034,40
3	20,30	46,19	1,036	1035,60
4	20,32	46,18	1,034	1034,40
5	20,33	46,19	1,034	1034,40
6	20,34	46,19	1,034	1034,00
7	20,32	46,18	1,034	1034,40
8	20,32	46,18	1,034	1034,40
9	20,32	46,17	1,034	1034,00
10	20,30	46,16	1,034	1034,40
Promedio	20,32	46,18	1,034	1034,28
Mediana	20,32	46,18	1,034	1034,40
Moda	20,32	46,19	1,034	1034,40
Desviacion estándar	1,23E-02	1,58E-02	6,81E-04	6,81E-01

Caudal agua tratada	98 L/s		8,467.20 m <sup>3</sup> /día	
Prueba N°	Masa picnómetro vacio (g)	Masa picnómetro con lodo (g)	Densidad (g/ml)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
1	20,32	46,32	1,040	1040,00
2	20,33	46,31	1,039	1039,20
3	20,31	46,30	1,040	1039,60
4	20,30	46,30	1,040	1040,00
5	20,31	46,32	1,040	1040,40
6	20,32	46,32	1,040	1040,00
7	20,32	46,30	1,039	1039,20
8	20,33	46,32	1,040	1039,60
9	20,30	46,30	1,040	1040,00
10	20,32	46,30	1,039	1039,20
Promedio	20,32	46,31	1,040	1039,72
Mediana	20,32	46,31	1,040	1039,80
Moda	20,32	46,30	1,040	1040,00
Desviacion estándar	1,07E-02	9,94E-03	4,24E-04	4,24E-01

**ANEXO H**

**Resultados Analíticos**



Ciudad y fecha: Bogota, Junio 10 DE 2006

Nro : 38812

Empresa : 9856 E.A.A.A. DE MADRID E.S.P.

Dirección: CALLE 9 No. 7-99

Ciudad: MADRID

Producto : AGUA POTABLE

Teléfono : 0 8250145 Fax : 8254629

SALIDA TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Examen solicitado : fisicoquimico

Proveedor :

No. de lote :

Características : Producto terminado

Lugar y fecha del muestreo: MADRID 06/08/06

Fecha Elaboración : / /

Método de muestreo : PUNTUAL

Fecha Vencimiento : / /

Temperatura : Refrigeración

Tamaño Muestra : 1000 ml

Responsable muestreo y transporte: JAINE RODRIGUEZ ACEVEDO

Tipo de envase : PLASTICO

Agua Fuente :

Destino :

ANALISIS REALIZADOS	METODO	RESULTADOS	LIMITES RECOMENDADOS
51 pH	Potenciométrico	7.0	6,5 - 9,0
130 Dureza Total, (mg/L) CaCO3	Complexométrico	30	Máximo: 160
133 Alcalinidad Total, (mg/l) CaCO3	Volumétrico	90	Máx: 100
140 Cloruros, Cl-, (mg/L)	Volumétrico	54	Máximo: 250
141 Sulfatos, SO4= (mg/L)	Turbidimétrico	48	Máximo: 250
143 Hierro Total, Fe++ (mg/L)	Espectrofotométrico	0.15	Máximo: 0.3
146 Nitritos, NO2- (mg/L)	Espectrofotométrico	< 0.01	Máximo: 0,1
149 Fosfato, mg/l P	Espectrofotometria	0.09	Máximo: 0,2
151 Sólidos totales, mg/L.	Gravimetria	215	Máximo 500
152 Sólidos disueltos totales (TOS) mg/l	Electrométrico	215	
153 Sólidos suspendidos totales(SST), mg/L.	Filtración/Secado	< 1	
Continua ---)			





Ciudad y fecha: Bogota, Junio 10 DE 2006

Nro : 38812

Empresa : 9856 E.A.A.A. DE MAORID E.S.P.

Direccion: CALLE 9 No. 7-99

Ciudad: MAORID

Telefono : 0 8250145 Fax : 8254629

Examen solicitado : Fisicoquimico

No. de lote :

Lugar y fecha del muestreo: MADRID 06/08/06

Metodo de muestreo : PUNTUAL

Temperatura : Refrigeracion

Responsable muestreo y transporte: JAINE RODRIGUEZ ACEVEDO

Producto : AGUA POTABLE

SALIDA TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Proveedor :

Caracteristicas : Producto terminado

Fecha Elaboracion : / /

Fecha Vencimiento : / /

Tamaño Muestra : 1000 ml

Tipo de envase : PLASTICO

Agua Fuente :

Destino :

ANALISIS REALIZADOS	METODO	RESULTADOS	LIMITES RECOMENDADOS
596 Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$	Electrométrico	431	50-1000
602 Color real, unidades Hazen	Colorimetria	5	Máximo 15
603 Turbiedad, NTU	Nefelometría	2.4	Menor de 5
683 Cloro residual libre Clo, mg/L	Colorimétrico	1.2	0,2-1,0

Observaciones : MUESTRA QUE NO CUMPLE TODAS LAS ESPECIFICACIONES PARA AGUAS POTABLES SEGUN DECRETO MINSALUD No. 475/98 EN EL PARÁMETRO DE CLORO.

Atentamente:  BELISARIO ACEVEDO D. Ph.D.  
DIRECTOR TÉCNICO





Ciudad y fecha: Bogota, Junio 20 DE 2006

Nro : 801710

Empresa : 9856 E.A.A.A. DE MADRID E.S.P.

Direccion: CALLE 9 No. 7-99

Ciudad: MADRID

Telefono : 0 8250145 Fax : 8254629

Examen solicitado : Microbiologico

No. de lote :

Lugar y fecha del muestreo: Bogota D.C.

06/08/06

Metodo de muestreo : PUNTUAL

Temperatura : Refrigeracion

Responsable muestreo y transporte: JAIME RODRIGUEZ ACEVEDO

Producto : AGUA POTABLE  
SALIDA DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Proveedor :

Caracteristicas : Producto terminado

Fecha Elaboracion : / /

Fecha Vencimiento : / /

Tamaño Muestra : 118 cc

Tipo de envase : BOLSA NASCO

Agua Fuente :

Destino :

ANALISIS REALIZADOS	METODO	RESULTADOS	LIMITES RECOMENDADOS
2 Recuento de microorganismos aerobios mesófilos(UFC/ml)	SPC Agar 37°C 48 horas	Menor de 1	Máxlmo: 100
962 Coliformes totales, UFC/100 cm3	Filtración por membrana	0	0
963 Escherichia coli, UFC/100 cm3	Filtración por membrana	0	0

Observaciones : MUESTRA QUE CUMPLE ESPECIFICACIONES MICROBIOLÓGICAS ESTABLECIDAS EN EL DECRETO No 475 de 1.998  
PARA EL CONSUMO HUMANO (MINISTERIO DE SALUD)

Calidad : Aceptable

Atentamente:   
MARITZA AGUILAR  
JEFE LABORATORIO MICROBIOLOGIA

  
BELISARIO ACEVEDO  
DIRECTOR TÉCNICO



CERTIFICADO DE GESTIÓN DE LA CALIDAD  
CERTIFICACIÓN No. 2144-1  
PRESTACIONES DE SERVICIOS DE CONSULTORÍA DE CALIDAD, ANÁLISIS DE LABORATORIO, EN EL SECTOR ALIMENTARIO Y EN OTROS SECTORES.  
NIC 150-999 2000







INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO

CÓDIGO: **10602**

PÁGINA: 1 de 1

SEÑOR(ES): **EMPRESA DE ACUEDUCTO, ASEO Y ALCANTARILLADO DE MADRID**

Atn.:

DIRECCIÓN:

TELÉFONO:

MUESTRA PROCEDENTE DE :

**MADRID**

DEPARTAMENTO:

**CUNDINAMARCA**

LUGAR TOMA DE LA MUESTRA:

**EMPRESA DE ACUEDUCTO, ASEO Y ALCANTARILLADO DE MADRID**

TIPO DE MUESTRA : **LODO**

PUNTO DE CAPTACIÓN: **SEDIMENTADOR I**

FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA:

**13-Dic-06**

HORA TOMA DE LA MUESTRA:

**09:20 a.m.**

FECHA DE RECIBO DE LA MUESTRA:

**13-Dic-06**

**RESULTADOS**

ENSAYO	MÉTODO	REFERENCIA	RESULTADO
HUMEDAD	Gravimétrico		<b>97,3 %</b>
SÓLIDOS TOTALES	Gravimétrico (Secado a 105°C)		<b>2,7 %</b>
MATERIA ORGÁNICA	Calcinación		<b>24,8 %</b>

**FIN DEL REPORTE**

**OBSERVACIONES:** Muestra puntual recolectada por personal el cliente.

SW EPA 846: Test Methods for Evaluating Solid Wastes. Análisis realizado en base seca.

**ANALQUIM LTDA.**

*Glady's Yadira Guiza Arias*

**GLADYS YADIRA GÜIZA ARIAS**  
**QUÍMICA LABORATORIO**

**NOTA:** Los resultados del presente informe hacen referencia únicamente a la muestra analizada.

Bogotá, Enero 15 de 2007

**FECHA DE EXPEDICIÓN**

yga

ANQ(2)-PL-071-1 - Rev. 0/Oct-05

# ANALISIS FISICO - QUIMICO

No. IL066144

REVISIÓN: No 4  
CÓDIGO: FL-044  
FECHA: Marzo/2005

**Fuente** PUNTO DE CAPTACION AGUA TRATADA

**Fecha Toma** 17/11/2006

**Fecha Recepción** 17/11/2006

**Procedencia** MADRID HACIENDA CASABLANCA

**Tipo de análisis** SEGÚN REMISIÓN

**Enviada por** EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE MAD

**Página** 1 de 3

**Dirección:** MADRID - CUNDINAMARCA

**Teléfonos:** 0

PARAMETRO	RESULTADO	METODO	REF.	UNIDAD
Color	7	Comparación Visual	2120-B	1 Und
Turbiedad	1,4	Nefelométrico	2130-B	1 Und
Temperatura		Termométrico	2550-B	1 °C
pH	7,7	Potenciométrico	4500-H-B	1 Und
CO2		Calculo		1 mg/l-CO2
Alcalinidad Total	94	Titrimétrico - H2SO4	2320-B	1 mg/L-CaCO3
Alcalinidad Fenol		Titrimétrico - H2SO4	2320-B	1 mg/L-CaCO3
Acidez Total	3	Titulométrico- NaOH	2310-B	1 mg/L-CaCO3
A.Metil Naranja		Titulométrico- NaOH	2310-B	1 mg/L-CaCO3
Dureza Total	94	Titrimétrico - EDTA	2340-C	1 mg/L-CaCO3
Dureza Calcio	60	Titrimétrico - EDTA	3500-Ca-B	1 mg/L-CaCO3
Dureza Magnesio	34	Titrimétrico - EDTA	3500-Mg-B	1 mg/L-CaCO3
D. Carbonacea		Calculo		1 mg/L-CaCO3
D. No Carbonacea		Calculo		1 mg/L-CaCO3
Sulfuros		Yodométrico	4500-S2-F	1 mg/L-S
Hierro Soluble		Abs. Atómica-LL. Directa	3500-Fe-B	1 mg/L-Fe
Cloruros	34,7	Titulométrico - AgNO3	4500-Cl-B	1 mg/L-Cl
Cloro Residual	0,64	Titulométrico DPD	4500-Cl-G	1 mg/L
Conductividad	297	Conductimétrico	2510-B	1 μmhos/cm
N. Amónico	0,00	Colorimétrico - Nessler	4500-NH4	7 mg/L-N
N. Nitritos	0,00	Colorimétrico - NEDA	4500-NO2-B	1 mg/L-N
N. Nitratos	0,00	Colorimétrico - A. Cromotrópico	419 E	2 mg/L-N
N. Orgánico		Macro- Kjeldahl	4500-N-B	1 mg/L-N
Nitrogeno Total		Macro- Kjeldahl	4500-N-B	1 mg/L-N
Cianuros	<0,05	Titulométrico	4500-CN-B	1 mg/L-CN
Silice		Abs. Atómica - Llama Directa	3500-Si-B	1 mg/L-Si
Indice de Langelier		Calculo		1 -
Hidrocarburos Totales		Gravimétrico - Sílica Gel	5520-F	1 mg/L

**OBSERVACIONES**

COLIFORMES TOTALES = 0 UFC/100ml  
COLIFORMES FECALES = 0 UFC/100ml.  
CROMO VI =<0,01 mg/L Cr  
SUSTANCIAS FLOTANTES = AUSENTES  
BACTERIAS MESOFILICAS = 0 UFC/100ml

**FECHA DE IMPRESIÓN**

04/12/2006

**Muestra:** MUESTRA TOMADA POR PERSONAL DE ILAM.

**CB:**

- Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, APHA, AWWA y WEF, Edición 20, 1998.
- Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, APHA, AWWA y WPCF, Edición 14, 1975.
- Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, APHA, AWWA y WEF, Edición 18, 1992

**ILAM C.I.S.A. E.S.P. COMPAÑIA DE COMERCIO INTERNACIONAL DE INGENIERIA Y LABORATORIO AMBIENTAL**  
CARRERA 13/1a 72-10 PBX: (51-1)46 23 75 Fax: (51-1)217 19 02 A.A. 92500 Bogotá D.C.  
Email: ilam@comercio@telcelnet.com.co - ilamadmon@telcelnet.com.co

JEFE DE LABORATORIO  
LABORATORIO AMBIENTAL

\* Alianza: Servicio de mantenimiento, instalación, reparación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas y saneamiento ambiental.



Industria y Construcción  
1996



# ANALISIS FISICO - QUIMICO

No. IL066144

REVISION: No 4  
CÓDIGO: FL-044  
FECHA: Marzo/2005

**Fuente** PUNTO DE CAPTACION AGUA TRATADA

**Fecha Toma** 17/11/2006

**Fecha Recepción** 17/11/2006

**Procedencia** MADRID HACIENDA CASABLANCA

**Tipo de análisis** SEGÚN REMISIÓN

**Enviada por** EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE MAD

Página 2 de 3

**Dirección:** MADRID - CUNDINAMARCA

**Teléfonos:** 0

PARAMETRO	RESULTADO	METODO	REF.	UNIDAD
Salinidad		Electrométrico	2520-B	1 por mil
Carbonato de Sodio Residual		Calculo		1 meq/L
Porcentaje de Sodio Posible		Calculo		1 %
Sulfatos	20,4	Turbidimétrico	4500-SO4-E	1 mg/L-SO4
Olor		Sensorial	2150-B	1 -
Sabor		-	-	- -
RAS		Calculo	-	- -
Fosforo Total		Colorimétrico - Ácido Ascórbico	4500-P-E	1 mg/L-F
Ortofosfatos	0,01	Colorimétrico - Ácido Ascórbico	4500-P-E	1 mg/L-P
Fluoruros	0,00	Colorimétrico - SPANDS	4500-F-D	1 mg/L-P
OD		Titrimétrico - Azida Modificado	4500-O2-C	1 mg/L-O2
DBO		Incubación 5 días - Winkler	5210-B	1 mg/L-O2
DQO		Reflujo Abierto - K2Cr2O7	5220-B	1 mg/L-O2
Grasas	<1,0	Gravimétrico - Extracción Soxhlet	5520-D	1 mg/L
Sólidos Totales	219	Gravimétrico	2540-B	1 mg/L
S. Totales Fijos		Gravimétrico	2540-B	1 mg/L
S. Totales Volátiles		Gravimétrico	2540-B	1 mg/L
S. Suspendidos Totales	<5	Gravimétrico	2540-D	1 mg/L
S. Suspendidos Fijos		Gravimétrico	2540-E	1 mg/L
S. Suspendidos Volátiles		Gravimétrico	2540-E	1 mg/L
S. Disueltos Totales	214	Gravimétrico	2540-C	1 mg/L
S. Disueltos Fijos		Gravimétrico	2540-E	1 mg/L
S. Disueltos Volátiles		Gravimétrico	2540-E	1 mg/L
Sólidos Sedimentables	0,0	Volumétrico	2540-F	1 ml/L-Hr
Fenoles	<0,001	Colorimétrico - 4 aminoantipirina	5530-D	1 mg/L
SAAM	0,03	Colorimétrico - Azul de Metileno	5540-C	1 mg/L
pH de saturación		Calculo	-	- -

**OBSERVACIONES**

COLIFORMES TOTALES = 0 UFC/100mL  
COLIFORMES FECALES = 0 UFC/100mL  
CROMO VI = <0,01 mg/L Cr  
SUSTANCIAS FLOTANTES = AUSENTES  
BACTERIAS MESOFILICAS = 0 UFC/100mL

**FECHA DE IMPRESIÓN**

04/12/2006

**Muestra:** MUESTRA TOMADA POR PERSONAL DE ILAM.

**CB:**

- Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. APHA, AWWA y WEF. Edición 20. 1998
- Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. APHA, AWWA y WPCF. Edición 14. 1975
- Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. APHA, AWWA y WEF. Edición 18. 1992

**ILAM C.I.S.A. E.S.P. COMPAÑÍA DE COMERCIO INTERNACIONAL DE INGENIERIA Y LABORATORIO AMBIENTAL**  
CARRERA 131 No 72-19. PBX: (57-1) 346 23 75 Fax: (57-1) 211 19 02 A.A. 32500 Bogotá D.C.  
Email: [ilamtecnic@telecel.com.co](mailto:ilamtecnic@telecel.com.co) - [ilamdamon@telecel.com.co](mailto:ilamdamon@telecel.com.co)



**JEFE DE LABORATORIO**  
**INGENIERIA Y LABORATORIO**  
**AMBIENTAL**

\* Atención Servicio de muestras:  
Laboratorio: lunes y miércoles en horario  
normal mínimo de 48 horas de tratamiento  
previo al día de ingreso a laboratorio



Ministerio del Medio Ambiente y Conservación



# ANALISIS FISICO - QUIMICO

No. IL066144

REVISIÓN: No 4  
CÓDIGO: FL-044  
FECHA: Marzo/2005

**Fuente** PUNTO DE CAPTACION AGUA TRATADA

**Fecha Toma** 17/11/2006

**Fecha Recepción** 17/11/2006

**Procedencia** MADRID HACIENDA CASABLANCA

**Tipo de análisis** SEGÚN REMISIÓN

**Enviada por** EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE MADRID

Página 3 de 3

**Dirección:** MADRID - CUNDINAMARCA

**Teléfonos:** 0

## METALES

PARAMETRO	RESULTADO	METODO	REF.	UNIDAD
Antimonio	<0,002	Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Sb-B	1 mg/L-Sb
Aluminio	<0,20	Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Al-B	1 mg/L-Al
Arsenico	<0,32	Abs.Atómica - Gen. Hidruros	3500-As-B	1 µg/L-As
Bario	<0,16	Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Ba-B	1 mg/L-Ba
Berilio		Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Be-B	1 mg/L-Be
Boro	<0,20	Abs.Atómica - Llama Directa	3500-B-D	1 mg/L-B
Cadmio	<0,02	Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Cd-B	1 mg/L-Cd
Calcio		Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Ca-B	1 mg/L-Ca
Cobalto		Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Co-B	1 mg/L-Co
Cobre	0,07	Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Cu-B	1 mg/L-Cu
Cromo		Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Cr-B	1 mg/L-Cr
Hierro Total	0,27	Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Fe-B	1 mg/L-Fe
Litio		Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Li-B	1 mg/L-Li
Magnesio		Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Mg-B	1 mg/L-Mg
Manganeso	0,00	Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Mn-B	1 mg/L-Mn
Mercurio	<0,10	Abs.Atómica - Gen.Hidruros	3500-Hg-B	1 µg/L-Hg
Molibdeno	<0,01	Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Mo-B	1 mg/L-Mo
Níquel	<0,01	Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Ni-B	1 mg/L-Ni
Plata	<0,01	Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Ag-B	1 mg/L-Ag
Plomo	<0,01	Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Pb-B	1 mg/L-Pb
Potasio		Abs.Atómica - Llama Directa	3500-K-B	1 mg/L-K
Selenio	<0,91	Abs.Atómica - Gen.Hidruros	3500-Se-B	1 µg/L-Se
Sodio		Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Na-B	1 mg/L-Na
Vanadio		Abs.Atómica - Llama Directa	3500-V-B	1 mg/L-V
Zinc		Abs.Atómica - Llama Directa	3500-Zn-B	1 mg/L-Zn

## BACTERIOLOGICO

Coliformes Totales	N.M.P/100ml	Bacterias Mesófilicas	COLONIAS/ml
Coliformes Fecales	N.M.P/100ml	Hongos y Levaduras	

### OBSERVACIONES

COLIFORMES TOTALES = 0 UFC/100mL  
COLIFORMES FECALES = 0 UFC/100mL  
CROMO VI =<0,01 mg/L Cr  
SUSTANCIAS FLOTANTES = AUSENTES  
BACTERIAS MESOFILICAS = 0 UFC/100mL

### FECHA DE IMPRESIÓN

04/12/2006

Muestra: MUESTRA TOMADA POR PERSONAL DE ILAM.

CB:

JEFÉ DE LABORATORIO Y LABORATORIO AMBIENTAL

- Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater , APHA, AWWA y WEF, Edición 20, 1998
- Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater , APHA, AWWA y WPCF, Edición 14, 1975
- Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, APHA, AWWA y WEF, Edición 18, 1992

ILAM C.I.S.A. E.S.P. COMPAÑÍA DE COMERCIO INTERNACIONAL DE INGENIERIA Y LABORATORIO AMBIENTAL  
CARRERA 19/1a 72-18 BOGOTÁ - COLOMBIA TEL: (57-1) 346 23 15 FAX: (57-1) 217 19 02 A.A. 32500 Bogotá D.C.  
Email: [ilam@tecnica.com.co](mailto:ilam@tecnica.com.co) - [ilamadmon@telecst.com.co](mailto:ilamadmon@telecst.com.co)

\*Alcance: Servicios de consultoría;  
Laboratorio; Instalación y mantenimiento  
de instalaciones de plantas de tratamiento  
de aguas de saneamiento y ambiental



Industria y Comercio



# ANALISIS DE PESTICIDAS AGUAS

REVISIÓN: No 1  
CÓDIGO: FL-0  
FECHA: ABRIL/2005

No. **IL066144**

**Fuente** PUNTO DE CAPTACION AGUA TRATADA **Fecha Toma** 17/11/2006  
**Procedencia** MADRID HACIENDA CASABLANCA **Fecha recepción** 17/11/2006  
**Enviada por** EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE **Tipo de analisis** SEGÚN REMISIÓN  
**Dirección** MADRID - CUNDINAMARCA **Teléfonos** 0

PARAMETRO	RESULTADO	METODO	REF.	UNIDAD
Pesticidas Organofosforados	<0,1	Cromatografía de Gases 8140	1	µg/L
Pesticidas Organoclorados	<0,1	Cromatografía de Gases 6630B	2	µg/L
Pesticidas Carbamatos-Urea	<0,1	Cromatografía de Gases 8140	2	µg/L
Bifenil Policlorados (PCB's)		Cromatografía de Gases 6431B	2	µg/L
Trihalomelanos	0,77	Cromatografía de Gases 8020	2	µg/L
HAPT		Cromatografía de Gases 6640B	1	µg/L
TPH		Cromatografía de Gases 5520F	2	µg/L
BTEX		Cromatografía de Gases 8021	1	µg/L
Cloroformo	0,32	Cromatografía de Gases 502.1	3	µg/L

**OBSERVACIONES**

**FECHA DE IMPRESIÓN**

04/12/2006

**CB**

**MUESTRA** MUESTRA TOMADA POR PERSONAL DE ILAM.



**JEFE DE LABORATORIO**

**INGENIERIA Y LABORATORIO AMBIENTAL**

- 1 SW 846 EPA Test Methods For the Evaluating solid waste Noviembre-1988
- 2 Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater , APHA, AWWA y WPCF. Edición 14, 1975
- 3 Copilation of Epa S Sampling and Analysis Methods 1992

**ILAM C.I.S.A. E.S.P. COMPAÑIA DE COMERCIO INTERNACIONAL DE INGENIERIA Y LABORATORIO AMBIENTAL**  
 CARRERA 15 No. 72-18 PBX: (57-1)346 23 75 Fax: (57-1)217 19 02 A.A. 92500 Bogotá D.C.  
 Email: ilam@ilam.com.co - ilam@ilam.com.co

\*Atención: Servicio de monitoreo:  
 laboratorios, diseño y ejecución de obras de  
 mantenimiento de plantas de tratamiento de  
 agua potable de ingeniería civil, ambientales



Industria y Comercio  
 CARRERA 15 No. 72-18



## **ANEXO I**

# Relaciones Hidráulicas para Tuberías Parcialmente Llenas

## Anexo F.

### Relaciones hidráulicas para tuberías parcialmente llenas en función de $q/Q$ Para $n/N$ variable con la altura de lámina

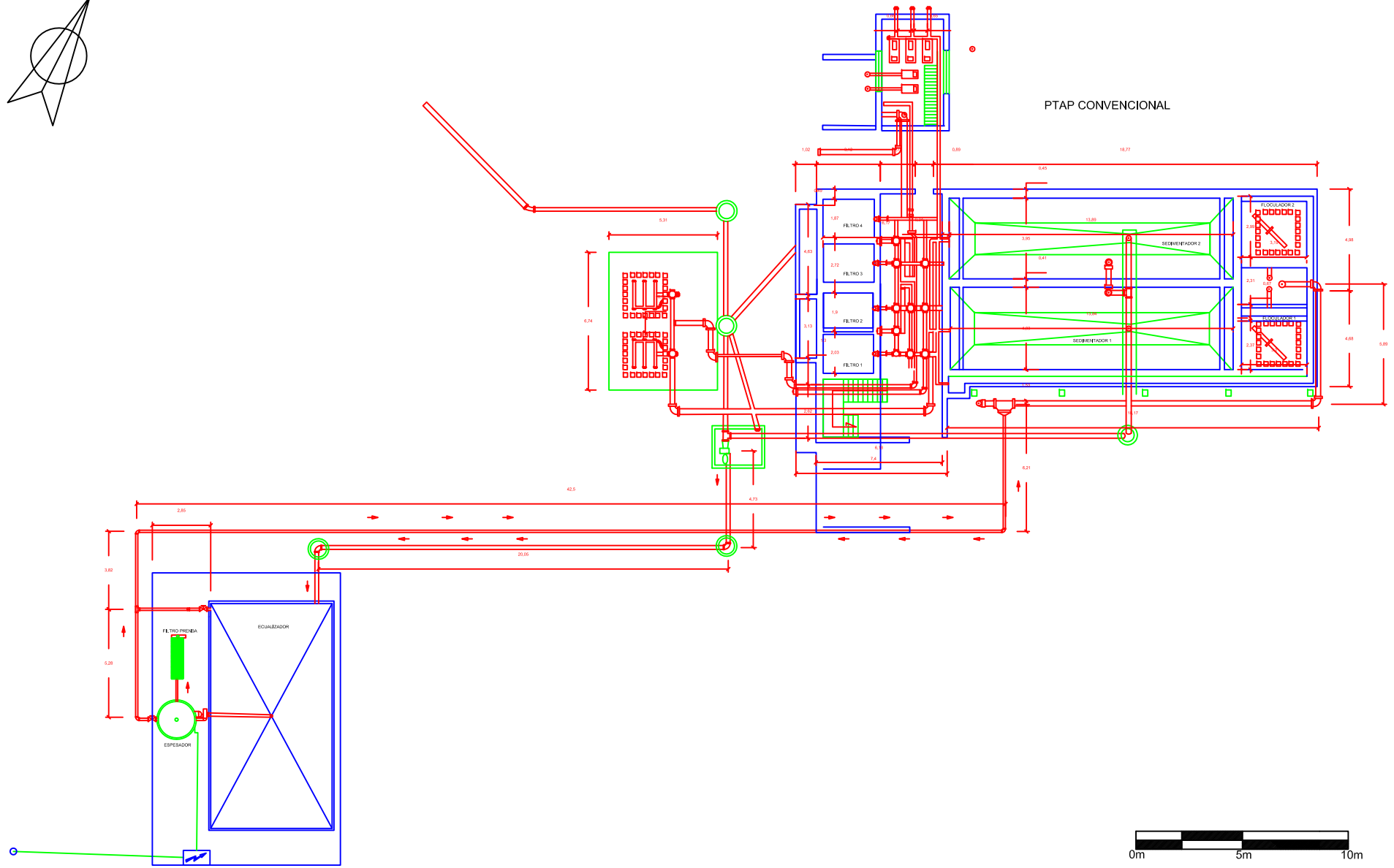
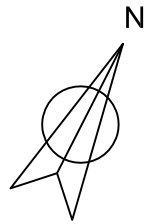
$q/Q$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	
0.0	0.000	0.290	0.344	0.386	0.419	0.445	0.468	0.488	0.506	0.523	$v/V$
	0.000	0.076	0.108	0.131	0.152	0.169	0.186	0.201	0.215	0.228	$d/D$
	0.000	0.195	0.273	0.328	0.375	0.415	0.452	0.485	0.515	0.542	$t/T$
0.1	0.539	0.553	0.567	0.579	0.591	0.602	0.614	0.625	0.636	0.646	$v/V$
	0.241	0.253	0.265	0.276	0.287	0.297	0.307	0.317	0.326	0.335	$d/D$
	0.568	0.592	0.615	0.637	0.659	0.678	0.697	0.715	0.732	0.748	$t/T$
0.2	0.656	0.665	0.674	0.683	0.692	0.700	0.708	0.716	0.724	0.732	$v/V$
	0.344	0.353	0.362	0.370	0.379	0.387	0.395	0.403	0.411	0.418	$d/D$
	0.764	0.779	0.794	0.809	0.822	0.836	0.849	0.862	0.874	0.885	$t/T$
0.3	0.739	0.747	0.754	0.761	0.768	0.775	0.782	0.788	0.795	0.801	$v/V$
	0.426	0.433	0.440	0.448	0.455	0.462	0.469	0.476	0.483	0.490	$d/D$
	0.897	0.908	0.918	0.929	0.939	0.949	0.959	0.968	0.978	0.987	$t/T$
0.4	0.807	0.813	0.819	0.825	0.830	0.836	0.841	0.847	0.852	0.857	$v/V$
	0.497	0.503	0.510	0.517	0.523	0.530	0.537	0.543	0.550	0.556	$d/D$
	0.996	1.004	1.013	1.021	1.029	1.037	1.045	1.052	1.059	1.067	$t/T$
0.5	0.862	0.857	0.852	0.847	0.842	0.837	0.831	0.826	0.820	0.814	$v/V$
	0.563	0.569	0.576	0.582	0.589	0.595	0.602	0.608	0.614	0.621	$d/D$
	1.074	1.080	1.087	1.093	1.100	1.106	1.112	1.118	1.124	1.129	$t/T$
0.6	0.909	0.913	0.917	0.921	0.925	0.929	0.933	0.937	0.941	0.944	$v/V$
	0.627	0.634	0.640	0.646	0.653	0.659	0.666	0.672	0.679	0.686	$d/D$
	1.135	1.140	1.145	1.150	1.155	1.159	1.164	1.168	1.173	1.177	$t/T$
0.7	0.948	0.951	0.955	0.959	0.963	0.967	0.970	0.974	0.977	0.981	$v/V$
	0.692	0.699	0.705	0.712	0.718	0.724	0.731	0.738	0.744	0.751	$d/D$
	1.181	1.184	1.188	1.191	1.194	1.197	1.200	1.202	1.205	1.207	$t/T$
0.8	0.984	0.988	0.991	0.994	0.997	1.000	1.003	1.007	1.012	1.016	$v/V$
	0.758	0.764	0.771	0.778	0.785	0.792	0.800	0.806	0.812	0.818	$d/D$
	1.209	1.211	1.213	1.214	1.215	1.216	1.217	1.217	1.217	1.217	$t/T$
0.9	1.020	1.024	1.028	1.032	1.036	1.040	1.043	1.047	1.050	1.053	$v/V$
	0.825	0.831	0.838	0.845	0.852	0.859	0.866	0.874	0.881	0.890	$d/D$
	1.217	1.216	1.215	1.214	1.213	1.211	1.209	1.206	1.202	1.198	$t/T$
1.0	1.056	1.059	1.061	1.063							$v/V$
	0.898	0.908	0.918	0.930							$d/D$
	1.193	1.187	1.179	1.168							$t/T$

$q$  = caudal real       $v$  = velocidad real       $d$  = altura de lámina       $t$  = fuerza tractiva real  
 $Q$  = capacidad lleno       $V$  = velocidad lleno       $D$  = diámetro interno       $T$  = fuerza tractiva lleno



## **ANEXO J**

### **Diseños Básicos de Sistema de Tratamiento de Lodos**



UNIVERSIDAD LIBRE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
BOGOTA - COLOMBIA

ANEXO I  
VISTA GENERAL PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE Y SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS  
DE MADRID CUNDINAMARCA, COLOMBIA

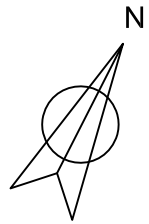
FIGURA 1

REALIZADO POR  
NICOLAS RODRIGUEZ

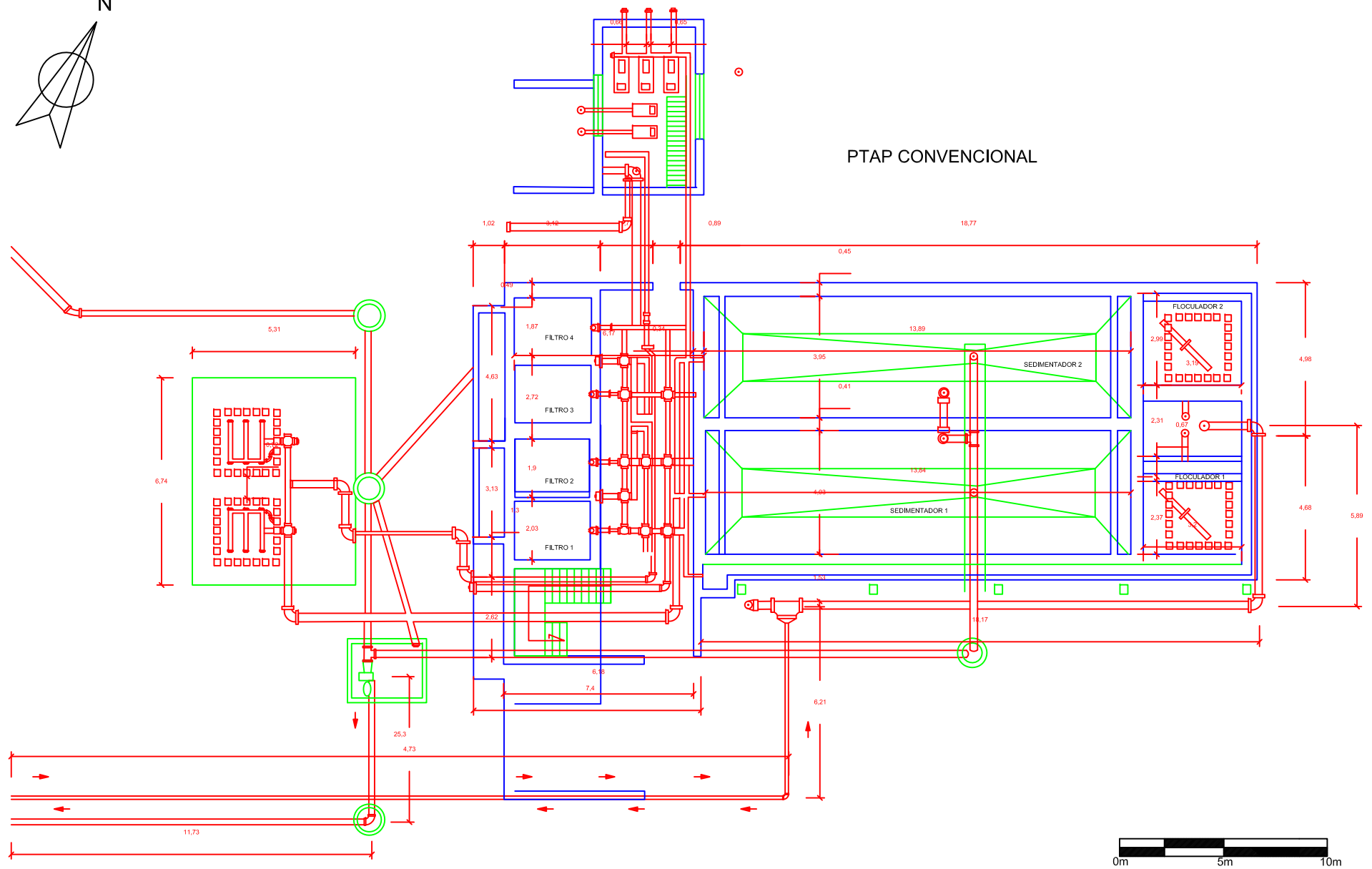
REVISADO POR  
ERNESTO QUINTERO

15-11-2012

PAGINA 1 DE 3



### PTAP CONVENCIONAL



UNIVERSIDAD LIBRE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
BOGOTA - COLOMBIA

ANEXO I  
VISTA GENERAL PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE DE MADRID CUNDINAMARCA, COLOMBIA

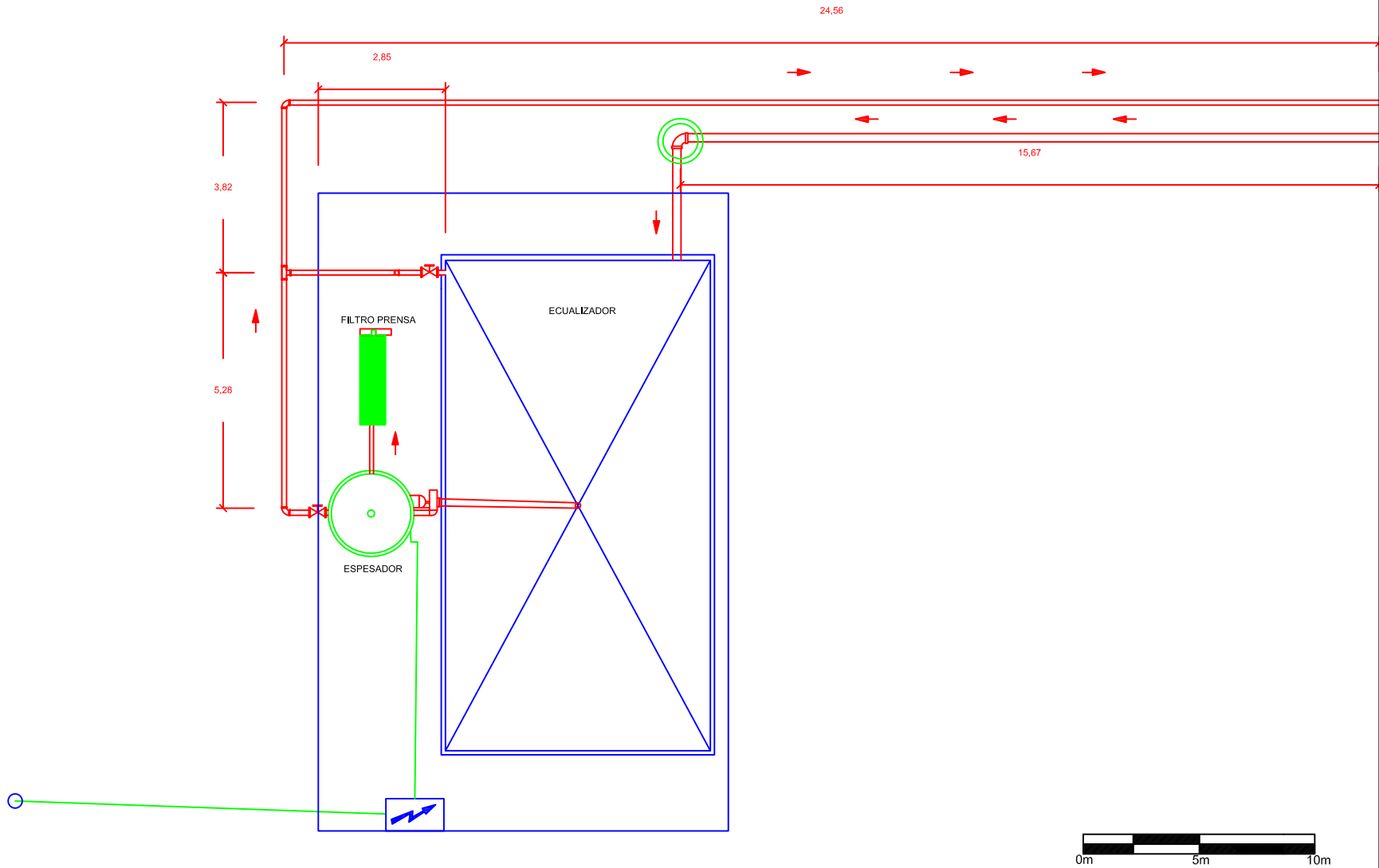
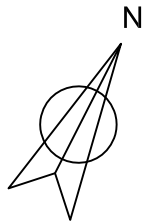
FIGURA 1

REALIZADO POR  
NICOLAS RODRIGUEZ

REVISADO POR  
ERNESTO QUINTERO

15-11-2012

PAGINA 2 DE 3



UNIVERSIDAD LIBRE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
BOGOTA - COLOMBIA

ANEXO I  
VISTA GENERAL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS  
PROPUESTO PARA LA PTAP DE MADRID CUNDINAMARCA,  
COLOMBIA

FIGURA 1

REALIZADO POR  
NICOLAS RODRIGUEZ

REVISADO POR  
ERNESTO QUINTERO

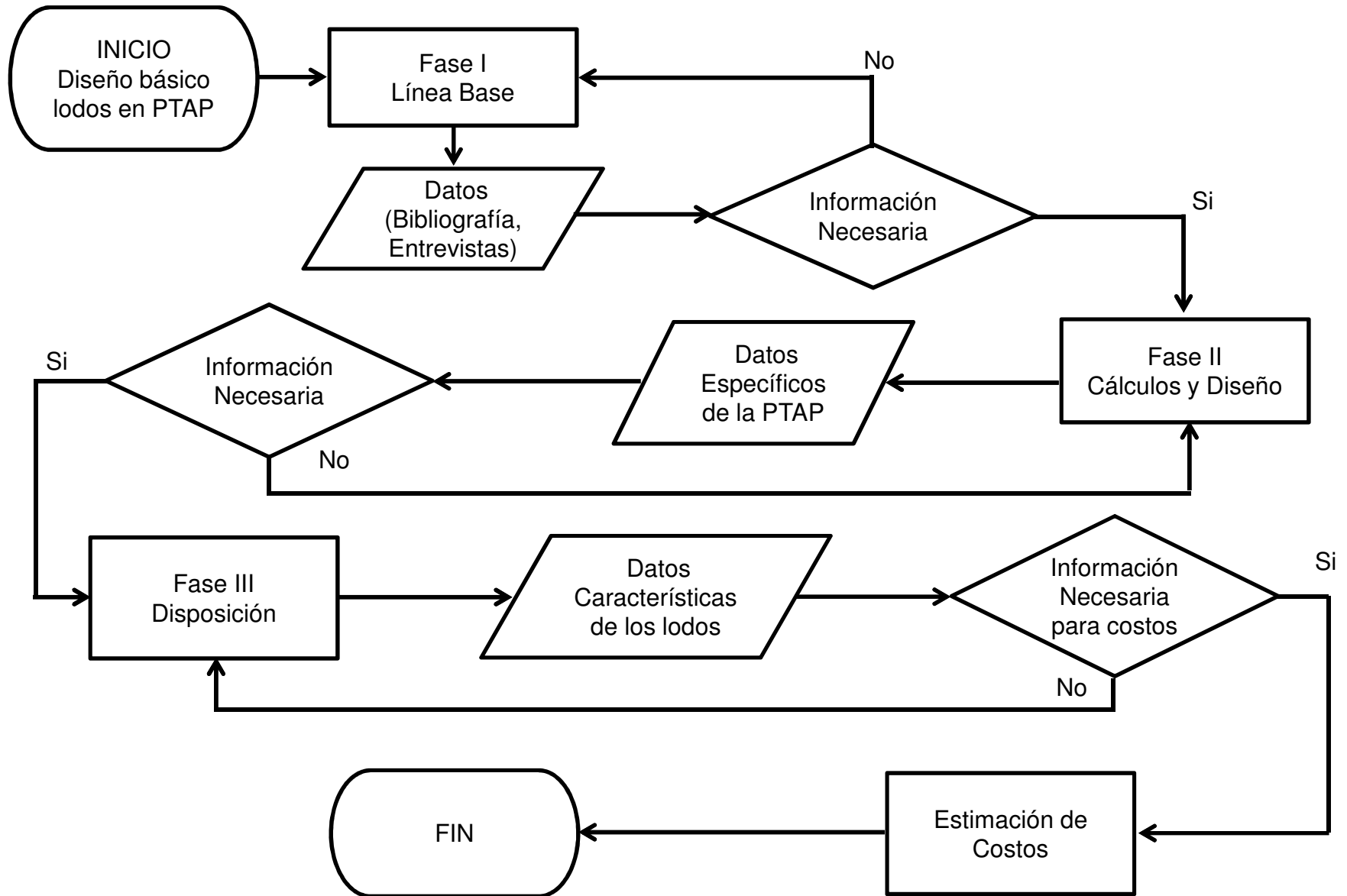
15-11-2012

PAGINA 3 DE 3

## **ANEXO K**

### **Diagrama de Flujo Metodología**

## Metodología para el Diseño de Sistemas de Tratamiento de Lodos en PTAP's



## **ANEXO L**

### **Proyección por Pago de Tasas Retributivas**

**PROYECCIÓN POR PAGO TASAS RETRIBUTIVAS POR AÑO PTAP MADRID**

N°	MES	CANTIDAD (kg)	DBO	Cantidad	DBO \$/kg	Sub Total	SST	Cantidad	SST \$/kg	Sub Total	Total
1	Enero	967000	9.8E-06	9.4766	116.26	\$ 1,101.7	1.3E-03	1.3E+03	49.72	\$ 63,464.6	\$ 64,566.35
2	Febrero	967000	9.8E-06	9.4766	116.26	\$ 1,101.7	1.3E-03	1.3E+03	49.72	\$ 63,464.6	\$ 64,566.35
3	Marzo	967000	9.8E-06	9.4766	116.26	\$ 1,101.7	1.3E-03	1.3E+03	49.72	\$ 63,464.6	\$ 64,566.35
4	Abril	967000	9.8E-06	9.4766	116.26	\$ 1,101.7	1.3E-03	1.3E+03	49.72	\$ 63,464.6	\$ 64,566.35
5	Mayo	967000	9.8E-06	9.4766	116.26	\$ 1,101.7	1.3E-03	1.3E+03	49.72	\$ 63,464.6	\$ 64,566.35
6	Junio	967000	9.8E-06	9.4766	116.26	\$ 1,101.7	1.3E-03	1.3E+03	49.72	\$ 63,464.6	\$ 64,566.35
7	Julio	967000	9.8E-06	9.4766	116.26	\$ 1,101.7	1.3E-03	1.3E+03	49.72	\$ 63,464.6	\$ 64,566.35
8	Agosto	967000	9.8E-06	9.4766	116.26	\$ 1,101.7	1.3E-03	1.3E+03	49.72	\$ 63,464.6	\$ 64,566.35
9	Septiembre	967000	9.8E-06	9.4766	116.26	\$ 1,101.7	1.3E-03	1.3E+03	49.72	\$ 63,464.6	\$ 64,566.35
10	Octubre	967000	9.8E-06	9.4766	116.26	\$ 1,101.7	1.3E-03	1.3E+03	49.72	\$ 63,464.6	\$ 64,566.35
11	Noviembre	967000	9.8E-06	9.4766	116.26	\$ 1,101.7	1.3E-03	1.3E+03	49.72	\$ 63,464.6	\$ 64,566.35
12	Diciembre	967000	9.8E-06	9.4766	116.26	\$ 1,101.7	1.3E-03	1.3E+03	49.72	\$ 63,464.6	\$ 64,566.35
										<b>TOTAL</b>	\$ 774,796.16

Valores calculados en base a la información del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) de 2013

Valor DBO \$/Kg

116.26

Valor SST \$/Kg

49.72



## **ANEXO M**

### **Guía Rápida Para El Uso de la Metodología**

Este anexo tiene como fin brindar las pautas generales de los pasos para el uso de la metodología en el diseño de sistemas de tratamiento de lodos y sirve como guía rápida para la ubicación de los contenidos en el proyecto metodológico.

Como información vital para la aplicación de la metodología se debe ubicar el sitio a estudiar, ya que la metodología se encuentra aplicada para sitios con población menor a 100,000 habitantes de la sabana de Bogotá, esto con el fin de que sean municipios con condiciones y características similares; y de esta manera poder aprovechar el ejemplo desarrollado por medio del caso piloto de la PTAP de Madrid Cundinamarca, para este tipo de información se puede consultar los censos del DANE como se indica en el *Anexo A* del presente documento.

El *capítulo 6* del presente documento tiene contenido los antecedentes internacionales y nacionales de las diferentes actividades desarrolladas para buscar opciones al tratamiento de lodos provenientes de los procesos de potabilización, también cuenta con un marco teórico y conceptual el cual incluye la teoría base de los temas de potabilización y producción de lodos y adicional a esto se incluye un marco normativo actualizado a diciembre de 2012, el cual contempla los lineamientos vigentes para el manejo de lodos producidos por la potabilización del agua.

Al sitio se le procederá a realizar el primer paso de la metodología identificado como fase I y el cual tiene como fin conocer las características generales, fuentes de abastecimiento y procesos de potabilización teniendo en cuenta las indicaciones del *numeral 11.1* del presente documento.

El *capítulo 7* muestra la información recolectada por los diferentes medios en el caso piloto de la PTAP de Madrid y en este se indican los puntos de captación de agua (aguas superficiales y aguas profundas), posterior a este se encuentra la identificación de los procesos de potabilización llevados a

cabo en el sitio, un punto a tener en cuenta durante esta fase investigativa es identificar los coagulantes utilizados en el proceso de floculación y las cantidades utilizadas, ya que con base en esta información se podrá obtener información para la toma de decisiones en próximos pasos, datos similares a los encontrados en la *tabla 7-2 y 7-3* del presente documento, se debe tener especial énfasis en los procesos de producción de lodos residuales que para la mayoría de casos se tratara de los procesos de floculación, sedimentación y filtración.

Posterior a esto en el *numeral 7.4* podemos encontrar los métodos para el cálculo de la producción de lodos en base a la información recolectada, cabe aclarar que existen varios métodos y que estos dependen de la información disponible para los mismos, razón por la cual para nuestro caso piloto se realizaron los cálculos tanto en forma teórica, como experimental y práctica; lo anterior con el fin de brindar las herramientas necesarias en el caso que algún sitio no disponga de la información necesaria para un cálculo en específico, el cálculo teórico realizado para el caso piloto se puede observar en las *tablas 7-5 y 7-6* del presente documento; el cálculo por el método experimental se puede observar en los cálculos de las *páginas 41 a la 43*; y teniendo en cuenta la información de los *Anexos F y G* para lo cual se obtuvieron los resultados de las *tablas 7-7 y 7-8*; por ultimo en la *página 44 y la tabla 7-9*, se pueden observar los cálculos para el método práctico.

Continuando con la fase I se tiene en cuenta la caracterización de los lodos producidos en la PTAP como lo indica el *numeral 7.4.2*, se debe recordar que las muestras deben ser analizadas por un laboratorio autorizado por el IDEAM con el fin de garantizar la calidad de los procesos de análisis y los resultados de los mismos; con el fin de facilitar el manejo de la información se puede resumir la información como se muestra en las *tablas 7-10 y 7-11*, posterior a esto se compararan los resultados contra las normas vigentes en materia de manejo de lodos residuales de procesos de potabilización con el

fin de identificar si el residuo generado se trata o no de un residuo peligroso el cual por temas normativos debe dársele un tratamiento especial y debe ser dispuesto por métodos y empresas autorizadas tal y como se indica en el *numeral 7.4.2.2*.

Con base en la información secundaria obtenida con el paso anterior se procede a analizarla con el fin de determinar las mejores opciones para el diseño del sistema de tratamiento de lodos que se adapte a las necesidades del sitio y los requerimientos del mismo.

Para lo cual se tendrá en cuenta lo contenido en el *Capítulo 8* en el cual se indican las diferentes alternativas a tener en cuenta para el tratamiento de lodos, como se indica en el *numeral 8.1* esta es una actividad que posee cierto grado de complejidad debido a la naturaleza del lodo y su porcentaje de humedad, con el fin de facilitar la toma de decisiones y teniendo en cuenta las características de los lodos y de la PTAP se muestran la *tabla 8-1* que compara los diferentes sistemas teniendo en cuenta su contenido de agua, la *tabla 8-2* que muestra las ventajas y desventajas de los sistemas de deshidratación mecánicos y naturales, estas tablas brindaran criterios iniciales básicos que pueden ir definiendo la alternativa a seleccionar para la PTAP. Adicional a las anteriores el *numeral 8.1.1* cuenta con la *tabla 8-3* que incluye una matriz cualitativa, la cual incluye a manera general las ventajas y desventajas de las posibles alternativas para el tratamiento de lodos, y de manera específica para la PTAP de Madrid la aplicabilidad y la viabilidad del sistema.

Posterior a este matriz, el *numeral 8.1.2* tiene en cuenta una matriz de valoración la cual tiene en cuenta cuatro factores el costo, el aprovechamiento del residuo, el factor socio-ambiental y la significancia del volumen de producción a partir del residuo, la *tabla 8-4* muestra la valoración

generada para el caso piloto y explica el por qué se calificó de esta manera.

Por último el *numeral 8.1.3* indica la selección de alternativas, este numeral es específico para la PTAP piloto ya que se desarrolla teniendo en cuenta las características específicas del sitio.

Una vez establecidas las condiciones generales del sitio de estudio se procede con el paso 2, identificado en la metodología como Fase II y el cual tiene en cuenta los factores técnicos de la PTAP que sirve como caso de estudio para la que se desarrollarán los cálculos y diseños de la alternativa de tratamiento seleccionada. Para esto se tendrán en cuenta las indicaciones del *Capítulo 9*.

Teniendo en cuenta el volumen máximo de lodos producidos (*ver tabla 7-8*) se desarrollan los cálculos para las alternativas seleccionadas, el *numeral 9.1* indica las características y las ecuaciones para el diseño de las alternativas seleccionadas como se indica a continuación:

- *numeral 9.1.1* Tanque ecualizador;
- *numeral 9.1.2* Dosificación de polímero;
- *numeral 9.1.3* Tanque espesador; y
- *numeral 9.1.4* Filtro prensa.

Una vez estimados los cálculos y diseños, se procederá al paso 3, identificado como Fase III y el cual selecciona el método más apropiado para el uso final de los lodos producto del sistema de tratamiento y los cálculos de los costos que implicaría la construcción de dichas alternativas.

Para la selección del método de uso o disposición final se tendrá en cuenta la *tabla 10-1* la cual referencia unos posibles métodos para el uso o la disposición y la descripción de los mismos, teniendo una mayor claridad de los métodos se procede a utilizar la *tabla 10-2* la cual indica las ventajas y

desventajas de cada uno de los métodos antes mencionados teniendo en cuenta los factores ambientales.

La *tabla 10-3* brinda un ejemplo de los cálculos de los costos que implicaría realizar el sistema de tratamiento de lodos para el sitio, teniendo en cuenta los factores económicos.

Los anteriores pasos son implementados a lo largo del proyecto teniendo en cuenta las características de la PTAP del municipio de Madrid Cundinamarca.

El *capítulo 11* indica los pasos a realizar a través de un diagrama de flujo, el *numeral 11.4* referencia las ventajas que ofrece la implementación de la metodología teniendo en cuenta los factores técnicos, socio-ambientales y económicos.