



**Informe de Prácticas Profesionales como
Opción de Grado**



**PROPUESTA PARA EL MANEJO DE LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MAMATOCO (SANTA MARTA- MAGDALENA)**

PRESENTADO POR:

Dainis Carolina Meriño Ferrer

Código:

2014217066

PRESENTADO A:

**Tutor de prácticas profesionales
Katy Henríquez**

**Jefe inmediato empresa
Paola Andrea Riaño Navarro**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
SANTA MARTA D.T.C.H
2021**



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Contenido

1.	PRESENTACIÓN.....	4
2.	OBJETIVOS.....	5
2.1.	Objetivo General.....	5
2.2.	Objetivos Específicos.....	5
2.3.	Funciones del practicante en la organización.....	5
3.	JUSTIFICACIÓN.....	7
4.	GENERALIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MAMATOCO.....	8
4.1.	Ubicación.....	8
4.2.	Descripción del sistema de potabilización.....	8
4.2.1.	Captación agua cruda.....	9
4.2.2.	Cámara de quietamiento Planta Mamatoco.....	10
4.2.3.	Mezcla rápida.....	12
4.2.4.	Unidad de floculadores.....	12
4.2.5.	Unidad de sedimentadores.....	14
4.2.6.	Unidad de filtración.....	16
4.2.7.	Unidad de desinfección.....	18
4.2.8.	Almacenamiento.....	19
5.	BASES TEORICAS RELACIONADAS.....	21
6.	DESARROLLO DE ACTIVIDADES.....	23
6.1.	Propuesta para el manejo de lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable Mamatoco (santa marta- magdalena).....	23
6.1.1.	Introducción.....	23
6.1.2.	Marco Teórico.....	25
6.1.2.1.	Generación de lodos en plantas de tratamiento de agua potable.....	25
6.1.2.2.	Origen de los lodos.....	25
6.2.2.3.	Características de los lodos.....	27
6.2.2.4.	Lodos producidos durante la coagulación – floculación.....	29
6.2.2.5.	Lodos producidos en el lavado de filtros.....	29



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



6.2.2.6.	Manejo de lodos generados en la potabilización.	30
6.2.2.7.	Disposición final de lodos.	33
6.1.3.	Marco normativo.....	36
6.1.4.	Metodología.....	37
6.1.4.1.	Fase 1: Recopilación de información.	37
6.1.4.2.	Fase 2: Muestreo de agua cruda.....	37
6.1.4.2.1.	Muestreo de lodos.....	38
6.1.4.2.2.	Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos	39
6.1.4.3.	Fase 3: Planteamiento de las alternativas para el tratamiento del lodo.....	43
6.1.4.3.1.	Metodología para la selección de la alternativa en el tratamiento del lodo.....	47
6.1.4.3.2.	Selección de la alternativa para el tratamiento del lodo.....	49
6.1.5.	Formulación del cronograma de implementación del proyecto.....	51
6.1.6.	Criterios de diseño básico para el tratamiento de lodos.	53
6.2.	Diagnostico general de las condiciones en las que se encuentran los pozos subterráneos de la ciudad de santa marta.	56
6.3.	Ejecución de cronogramas de mantenimiento de equipos y unidades en PTAP.....	57
6.4.	Implementación de sistema de dosificación de coagulante a gravedad en la PTAP Mamatoco	59
7.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	60
8.	CONCLUSIONES	61
9.	BIBLIOGRAFÍA	62
Anexos	64
Anexo 1.	Costos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de lodo.	64



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



1. PRESENTACIÓN

Las plantas de tratamiento de agua potable producen residuos llamados lodos, estos provienen de la concentración de sólidos e impurezas del agua que normalmente son captadas de fuentes hídricas superficiales, y son generados mediante los procesos internos de la planta potabilizadora en la cual son utilizados productos químicos necesario para lograr el cumplimiento de la calidad de agua para consumo humano.

El presente proyecto tuvo como objetivo seleccionar la alternativa más viable para realizar el tratamiento y posteriormente una adecuada disposición final de los lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable Mamatoco de la ciudad de Santa Marta, basado en una revisión documental se demuestra diferentes técnicas y análisis requeridos para determinar la caracterización fisicoquímica y microbiológica, teniendo en cuenta lo estipulado en la normativa ambiental vigente y así poder brindar una disposición final a estos residuos, de igual forma se aplico herramientas de evaluación que lograron analizar las alternativas y así seleccionar la opción más conveniente para el manejo de los mismos.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Proponer una alternativa para la mejora del manejo y disposición final de los lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable Mamatoco de la ciudad de Santa Marta.

2.2. Objetivos Específicos

1. Identificar las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos generados en la planta de tratamiento.
2. Evaluar una alternativa de tratamiento de lodos que se encuentre acorde con las condiciones de la planta de tratamiento.
3. Plantear la forma más adecuada de disposición final de los lodos.

2.3. Funciones del practicante en la organización

1. Apoyar en la operación de las plantas de tratamiento a cargo de la empresa, de acuerdo con las indicaciones del jefe inmediato.
2. Apoyar en el control de los productos químicos usados tanto en las plantas de tratamiento como en los pozos profundos y velar por su stock mínimo.
3. Apoyar en la elaboración de los informes e indicadores diarios y mensuales del área de producción, de acuerdo a las indicaciones del jefe inmediato.
4. Elaborar y ejecutar cronograma de mantenimiento de equipos y unidades con el jefe de planta.
5. Aplicar y verificar la implementación del sistema de gestión de calidad.
6. Apoyar en la supervisión del trabajo de las diferentes cuadrillas de trabajo del área de producción.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



7. Apoyar en la gestión de las necesidades del área de producción, en referente a implementos de aseo, dotación, materiales y herramientas, etc. y velar por su stock mínimo.
8. Apoyar en la atención de las solicitudes y peticiones de los operadores, auxiliares y demás funcionarios del área de producción, y escalarlas ante el jefe inmediato.
9. Mantener informado al jefe de producción de las novedades y necesidades del área.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



3. JUSTIFICACIÓN

La práctica habitual de las plantas de tratamiento de agua potable genera residuos a partir de los procesos de floculación, sedimentación y filtración denominados lodos, estos residuos deben tener un tratamiento adecuado y disposición final, sometiéndolos a un proceso de estabilización con el fin de reducir la carga de contaminantes y de esta manera lograr mitigar los impactos negativos sobre las fuentes naturales de agua, promoviendo su conservación y cuidado.

Las características fisicoquímicas y microbiológicas que presentan estos lodos son específicas, por lo tanto se requiere de una serie de procesos o técnicas reglamentadas para un adecuado tratamiento y disposición que pueden ser escogidas bajo diferentes consideraciones tales como: homogeneización, espesamiento de lodos, deshidratación por lechos o lagunas de secado, sistemas mecánicos: como filtros prensa, centrifugado, filtros al vacío, o camas de secado (Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio, 2017).

En consecuencia, es necesario realizar una propuesta para el manejo integral de los lodos generados en la PTAP Mamatoco de la ESSMAR E.SP, enfatizado en el cumplimiento de la normativa aplicable principalmente en cuestiones de salud pública y cuidado del ambiente, siguiendo los lineamientos establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000 –, Título C, de Sistemas de Potabilización (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



4. GENERALIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

MAMATOCO

4.1. Ubicación

La planta de tratamiento de agua potable Mamatoco, se encuentra ubicada en la ciudad de Santa Marta departamento del magdalena, ubicado en la CI 30 específicamente en las coordenadas $11^{\circ}13'30''$ N - $74^{\circ}09'38''$ W, como se puede apreciar en la Figura 1.

Figura 1

Imagen satelital de la ubicación de la PTAP Mamatoco.



Nota: Adaptado de Google Earth.

4.2. Descripción del sistema de potabilización

La planta de tratamiento de agua potable Mamatoco es de tipo convencional, tiene una capacidad de tratamiento de 800 l/s, dividida en dos plantas (P1 y P2) cada una con capacidad de 400 l/s. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f). Está compuesta por los siguientes elementos:



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



4.2.1. Captación agua cruda

La captación se realiza directamente sobre dos ríos:

Manzanares. La toma del río manzanares se realiza en el sitio conocido como el Paso de los Mangos, esta es una toma de tipo lateral con una rejilla de desbaste y dos desarenadores, de ahí es transportada a través de tuberías de asbesto-cemento de 20, 18 y 16 pulgadas de diámetro, por la acción de la fuerza de gravedad, hasta la PTAP de Mamatoco a 10 Km de distancia. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)

Figura 2

Captación río manzanares ubicado en paso del mango



Nota: Adaptado de Procedimiento tratamiento de agua potable, de Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta.

Piedras. La toma de agua de este Río se realiza en la vereda Transjordania, ésta es una bocatoma de tipo lateral y cuenta con desarenador y un canal de aducción de 1 Kilómetro de largo, el cual entrega a una tubería de GRP de 900 mm de diámetro, que luego reduce a 600 mm y después a 500 mm HD, pasando por una estructura rompe-presión, para luego ser



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



conducida hasta la PTAP Mamatoco. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)

Figura 3

Captación río piedras ubicado en la vereda Transjordania



Nota: Adaptado de Procedimiento tratamiento de agua potable, de Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta.

4.2.2. Cámara de quietamiento Planta Mamatoco

Cámara de quietamiento P1. Esta estructura recibe el agua procedente de los ríos Manzanares y piedras y consiste en una cámara vertical de tipo rectangular construida en concreto reforzado y a través de un vertedero rectangular donde se aplica el sulfato líquido aprovechando el resalto hidráulico le entrega el agua a la mezcla rápida. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Figura 4

Cámara de quietamiento de planta 1



Nota: Adaptado de Procedimiento tratamiento de agua potable, de Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta.

Cámara de quietamiento P2. Esta estructura recibe el agua procedente del río piedras por medio de una tubería de 500 mm HD, adicionalmente puede recibir el agua proveniente del pozo Cantilito por la antigua conducción de Matogiro que también puede ser usada para recibir agua de piedras ante una contingencia. Consiste en una cámara vertical de tipo rectangular construida en concreto reforzado y a través de un vertedero rectangular donde se aplica el sulfato líquido le entrega el agua a la mezcla rápida. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)

Figura 5

Cámara de quietamiento P2



Nota: Adaptado de Procedimiento tratamiento de agua potable, de Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta.

4.2.3. Mezcla rápida

Mezcla Rápida P1. Es hidráulica aprovechando para ello el resalto producido por la salida de la cámara hacia el canal de interconexión de sección rectangular que conecta la zona de mezcla rápida con la entrada de los Floculadores. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)

Mezcla Rápida P2. Es hidráulica aprovechando para ello el resalto producido por la salida de la cámara hacia la cámara de distribución de sección rectangular que conecta la zona de mezcla rápida con la entrada de los Floculadores por medio de tuberías de fibra de vidrio. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)

4.2.4. Unidad de floculadores

Floculadores P1. La planta cuenta con dos unidades de floculación, cada unidad con



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



dos agitadores mecánicos de paleta de eje vertical para un total de cuatro agitadores.
(Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)

Figura 6

Unidad de floculadores para planta 1



Nota: Adaptado de Procedimiento tratamiento de agua potable, de Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta.

Floculadores P2. La planta cuenta con dos módulos de Floculación agitados mecánicamente por un conjunto de motor reductor con paletas planas eje vertical. Cada floculador tiene instalado dos mezcladores. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Figura 7

Unidad de floculadores para la planta 2



Nota: Adaptado de Procedimiento tratamiento de agua potable, de Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta.

4.2.5. Unidad de sedimentadores

Sedimentadores P1. La planta cuenta con dos sedimentadores en paralelo en los cuales el agua floculada entra por debajo de la superficie del tanque, mediante las aberturas ubicadas en la parte lateral e inferior de los tubos que distribuyen el agua a través de toda el área de los decantadores y comienza a ascender. El agua clarificada es recolectada mediante canaletas dentadas y vertida a un canal común de donde pasa a la siguiente Etapa. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Figura 8

Unidad de sedimentadores planta 1



Nota: Adaptado de Procedimiento tratamiento de agua potable, de Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta.

Sedimentadores P2. La planta cuenta con dos sedimentadores en paralelo, después que el agua sale de los Floculadores pasa a los decantadores a través de un tubo ubicado en el fondo y en el centro de cada módulo, en los cuales el agua asciende y es recolectada por canaletas ubicadas en la superficie de estos. Cada decantador cuenta con una gran tolva para la recolección de los lodos formados en el proceso de clarificación, provistos de dos válvulas de descargue cada uno. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Figura 9

Unidad de sedimentadores para la planta 2



Nota: adaptado de Procedimiento tratamiento de agua potable, de Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta.

Adicionalmente cada Sedimentador cuenta con un pequeño módulo en los cuales el agua floculada entra por debajo de la superficie del tanque, mediante las aberturas ubicadas en la parte lateral e inferior de los tubos que distribuyen el agua a través de toda el área de los decantadores y comienza a ascender igualmente el agua clarificada es recolectada mediante canaletas y vertida a un canal de donde pasa a la siguiente Etapa. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)

4.2.6. Unidad de filtración

Filtración P1. Del canal de agua sedimentada el agua llega a los filtros, donde ocurre el proceso respectivo. La planta cuenta con cinco unidades de filtración convencionales de tasa declinante, con sus válvulas de influente, filtración, lavado, desagüe y drenaje; Los filtros del 1 al 4 tienen área superficial de 24.79 m^2 , mientras que el filtro 5 tiene un área de 34.84 m^2 .



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



(Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)

El medio filtrante es arena colocada sobre un falso fondo de placas y boquillas tipo Degremon. El lavado de los filtros se efectúa principalmente por tanque elevado y se utiliza además el flujo de aire suministrado por un soplador para lograr una buena eficiencia de este proceso. El agua que sale de los filtros pasa al laberinto de cloración antes de llegar al tanque de almacenamiento. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)

Figura 10

Unidad de filtración para planta 1



Nota: adaptado de Procedimiento tratamiento de agua potable, de Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta.

Filtración P2. Del canal de agua sedimentada el agua llega a los filtros, donde ocurre el proceso respectivo. La planta cuenta con 4 unidades de filtración convencionales de tasa declinante, con sus válvulas de influente, filtración, lavado, desagüe y drenaje; tienen área superficial de $33,6m^2$ cada uno. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Al igual que en la planta 1 el medio filtrante es arena colocada sobre un falso fondo de placas y boquillas tipo Degremon. El lavado de los filtros se efectúa principalmente por tanque elevado y se utiliza además el flujo de aire suministrado por un soplador para lograr una buena eficiencia de este proceso. El agua que sale de los filtros pasa al laberinto de cloración antes de llegar al tanque de almacenamiento. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)

Figura 11

Unidad de filtración para planta 2



Nota: adaptado de Procedimiento tratamiento de agua potable, de Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta.

4.2.7. Unidad de desinfección

La desinfección es efectuada mediante la aplicación de Cloro gaseoso, se cuenta con una caseta de cloración en donde se encuentra dos básculas dobles, dos sistemas de inyección, sistema de alarma en caso de fuga, un puente grúa semiautomatizado con capacidad de 2 Toneladas para el manejo de los contenedores y su almacenamiento. La



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



dosificación de cloro se lleva a cabo en dos puntos, uno en el laberinto de cloración que va hacia tanque 1 y en tanque 3 a la salida de los vertederos de los filtros. (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)

Figura 12

Unidad de desinfección



Nota: adaptado de Procedimiento tratamiento de agua potable, de Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta.

4.2.8. Almacenamiento

El almacenamiento en el sistema sirve para tener una reserva de agua y para distribuirla a través del sistema de Acueducto a la población, además para satisfacer las necesidades de la misma planta de potabilización. El agua producida en Planta 1 Y Planta 2 se almacena en tres tanques, tanque uno de 810 m^3 , tanque dos de 2.040 m^3 y tanque tres de 140 m^3 . Además se cuenta con un tanque elevado utilizado para el retro lavado de los filtros que tiene una capacidad de 100 m^3 . (Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta, s.f)



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Figura 13

Almacenamiento



Nota: adaptado de Procedimiento tratamiento de agua potable, de Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



5. BASES TEORICAS RELACIONADAS

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo teniendo en cuenta los conceptos referentes a las áreas temáticas establecidas en el plan de estudios descritos a continuación:

Tabla 1

Bases teóricas relacionadas con el proyecto

Asignaturas	competencias
Calidad de agua	Área: Ingeniería aplicada Componente: Diagnostico ambiental Evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, de acuerdo al contenido de las normas que regulan la materia.
Legislación ambiental	Área: Ingeniería aplicada Componente: Gestión ambiental Identificar las normas que garantizan los derechos ambientales aplicables en las organizaciones.
Plantas de potabilización	Área: Ingeniería aplicada Componente: Saneamiento básico Conocer e identificar cada uno de los procesos desarrollados en plantas de tratamiento de agua, así como las características del agua potable y sus mecanismos de control, además de calcular y diseñar las unidades que conforman la planta de potabilización.
Residuos sólidos	Área: Ingeniería aplicada Componente: Saneamiento básico Identificar los factores que generan contaminación, de acuerdo a la legislación vigente y tener la capacidad de implementar acciones para el manejo



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



adecuado de los residuos sólidos.

Ética profesional

Área: Formación complementaria

Componente: Económico administrativas

Aplicar conocimientos de la ética en su actuación profesional para resolver problemas y tomar de decisiones.

Nota: elaboración propia.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



6. DESARROLLO DE ACTIVIDADES

6.1. Propuesta para el manejo de lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable Mamatoco (santa marta- magdalena)

6.1.1. *Introducción*

El tratamiento de agua potable tiene gran importancia y es básicamente porque elimina cualquier potencial de riesgo para la salud humana, los cuales requieren de una serie de procesos que dependen de diversos aspectos como son la calidad del agua cruda, el sistema potabilización utilizado, entre otros.

La clarificación del agua engloba los procesos de coagulación-floculación, sedimentación y filtración, su objetivo principal es eliminar la turbidez y color que son características no deseables causada por materia en suspensión y coloidal, con lo que en esta etapa también se elimina parcialmente el contenido en materia orgánica del agua. Esta acción es realizada mediante el uso de coagulantes polielectrolíticos a base de metales como el aluminio o el hierro, que hacen que las partículas que aportan turbidez y color al agua se aglomeren formando flóculos que precipitan y dejan el agua clarificada (Romero Rojas, 2006).

En los sistemas de potabilización, se generan entonces una considerable producción de lodos, los cuales dependiendo de sus características se hace necesario su respectivo acondicionamiento y tratamiento, y posteriormente dar una disposición final, logrando minimizar en gran parte efectos en la salud pública y el ambiente en general.

De acuerdo a la legislación ambiental nacional, en Colombia las plantas de tratamiento de agua potable deben adquirir un permiso con la autoridad ambiental competente para verter los lodos generados en los procesos de potabilización que vayan directamente a la corriente de agua o descargos en alcantarillados, realizando estudios de impacto ambiental en el que se



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



demuestre que no produzcan concentraciones en el cuerpo receptor que excedan los criterios de calidad para el uso o usos asignados al recurso, por el contrario deberán realizar acciones necesarias tendientes a dar cumplimiento al manejo de lodos implementando técnicas adecuadas.

Por esta razón es de mucha importancia la creación e implementación de este proyecto en la planta de tratamiento de agua potable Mamatoco operada por la empresa de servicios públicos de santa marta ESSMAR E.S.P, donde se aborda una alternativa para el manejo de lodos como residuos de los tratamientos que se realizan en las diferentes unidades de sedimentación y filtración producto de la operación en la potabilización proveniente de los ríos manzanares y piedras, con el fin de mitigar la contaminación de las fuentes hídricas.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



6.1.2. Marco Teórico

6.1.2.1. Generación de lodos en plantas de tratamiento de agua potable.

El lodo resultante de los procesos de las plantas potabilizadoras tiene características especiales, pues es una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas compuestas de sólidos presentes en el agua cruda como las arcillas, que son un material constituyentes de turbiedad y compuestos no minerales introducidos por hojas, plancton y desagües industriales o domésticos. Además, se encuentran los sólidos agregados durante el tratamiento como hidróxidos de aluminio o hierro, hidróxidos de calcio, polielectrolitos, carbón activado en polvo, y demás compuestos químicos añadidos durante los procesos de purificación (Jorge Arboleda, 2000, p.293).

Uno de los aspectos más críticos en la operación de plantas de tratamiento 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 de turbiedad, ya que tanto sus características físico químicas como sus volúmenes son distintos en cada caso (Jorge Arboleda, 2000, p.291)

Los lodos que se producen en los sedimentadores constituyen entre el 60 y el 70 por ciento de los sólidos totales y en los filtros entre el 30 y el 40 por ciento. Sin embargo en las plantas que remueven hierro y manganeso los filtros retienen la mayoría de los lodos entre 50 a 90 por ciento. Los lodos pueden extraerse en forma periódica, por llenado y vaciado o en forma continua (Jorge Arboleda, 2000, p.291).

6.1.2.2. Origen de los lodos.

La fuente de los diferentes residuos de una planta de tratamiento de agua, así como sus características y cantidades, es función del tipo de tratamiento aplicado, de la composición del



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



agua cruda y de la calidad del producto. En general, los residuos de una planta de purificación de agua provienen de las operaciones y procesos que se realizan. Los lodos residuales en el tratamiento de agua potable se generan principalmente en las siguientes operaciones y procesos (Romero Rojas, 2006).

Sedimentación simple. En algunas plantas se utilizan tanques de sedimentación de agua cruda, sin coagulación previa, para remover arena fina, limos, arcilla y residuos orgánicos vegetales. El material sedimentado puede ser removido continua, o esporádicamente, mediante dragado, en estanques o dársenas de volumen grande (Romero Rojas, 2006).

Remoción de hierro y manganeso. En plantas de remoción de hierro y manganeso, los lodos están constituidos principalmente por los precipitados de hidróxido férrico y de óxidos mangánicos. Generalmente, el volumen de estos sólidos es menor que el que se obtiene de plantas convencionales de coagulación (Romero Rojas, 2006).

Coagulación química. Los residuos de la coagulación química están constituidos, básicamente, por el lodo de los sedimentadores. 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 orgánico e inorgánico removido, arena, limo, arcilla, polímeros o ayudas de coagulación usados, y por el agua de arrastre utilizada para su transporte. Generalmente, los lodos de los sedimentadores de agua coagulada son estables, no se descomponen rápido ni causan problemas de septicidad (Romero Rojas, 2006).

Lavado de filtros. La operación de lavado de filtros produce un lodo o agua residual de concentración baja de sólidos. La cantidad puede ser del orden del 2 al 6 por ciento del agua filtrada y los sólidos son los retenidos en el filtro durante la carrera de filtración. En plantas con



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



aplicación de carbón activado en polvo, antes de los filtros, el agua de lavado de los filtros contiene, además, el carbón activado aplicado y el material adsorbido (Romero Rojas, 2006).

6.2.2.3. Características de los lodos.

De manera general, se entiende como lodo aquellos sólidos acumulados que se separan de un líquido, en este caso, del agua durante el proceso de tratamiento. Las características del lodo dependen del origen del agua cruda, así como de los sistemas de tratamiento aplicados.

De acuerdo a las características de los lodos relacionados con el coagulante utilizado en el proceso de tratamiento de agua potable en la PTAP Mamatoco llamado policloruro de aluminio (PAC), se presenta la siguiente tabla con las características que tienen este tipo de lodos provenientes de sales de aluminio. (Romero Rojas, 2006).

Tabla 2

Características de los lodos de sales de aluminio

Característica de los lodos de sales de aluminio	
pH	6-8
DBO	30-300 mg/l
DQO	30-5000 mg/l
Sólidos	1%-2% (típico 1%)
Color	Gris a carmelita
Olor	inodoro
Volumen	20-50 l/m ³
Conteo bacterial	Alto
Sedimentabilidad	50% en 8 hr
secado	2 días sobre lechos de arena para 10% de sólidos

Nota: tomado del libro potabilización del agua, 3^o edición por Romero rojas (2006).



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Así mismo se presenta las características típicas de aguas de lavado de filtros. El agua de retro lavado representa típicamente de 2 a 5 por ciento del agua total procesada. La cantidad de sólidos que se generan en el agua de retro lavado de los filtros de arena depende de la carga de sólidos en el agua que se alimenta al filtro. La Tabla 8.1 muestra las características típicas del agua que se genera en el retro lavado de un filtro de una planta convencional. (Comisión Nacional del Agua, 2016, p.179).

Tabla 3

Características físicas y químicas del agua de retro lavado de un filtro granular

Características físicas	
características	cantidad
Volumen con respecto al agua tratada (%)	2-5
Densidad (g/mL)	1.0 -1.025
Concentración de sólidos (mg/L)	100- 1 000
Viscosidad a 20 °C (N s/m ²)	1-1.2 x 10 ⁻³
Velocidad de sedimentación (m/h)	0.06 – 0.15
Características químicas	
características	cantidad
DBO (mg/L)	2- 10
DQO (mg/L)	20 - 200
pH	7.2 - 7.8
Sólidos de alúmina o Fe (%)	20 - 50
Silicatos y materiales inertes (%)	30 - 40

Nota: tomado del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. De Diseño de Plantas Potabilizadoras de Tecnología Simplificadas, Comisión Nacional de Agua (2016).



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



6.2.2.4. Lodos producidos durante la coagulación – floculación.

Una gran cantidad de sustancias coagulantes utilizadas durante el proceso de coagulación, así como las impurezas que remueven, se depositan en el fondo de los tanques de sedimentación en forma de lodos, a los cuales se les denomina lodos de sulfato de aluminio, de fierro o poliméricos, según el coagulante primario que se utilice. Por tanto, los lodos de aluminio están compuestos principalmente por agua (más de 90 por ciento), hidróxido de aluminio, partículas inorgánicas (arcilla o arena), coloides, residuos de reactivos químicos añadidos durante el proceso de tratamiento, plancton y otra materia orgánica e inorgánica removida del agua. (Comisión nacional del agua, 2016, p.177).

De acuerdo a la Comisión nacional del agua (2016), la cantidad de lodos producido en una planta de tratamiento utilizando como coagulantes sales de aluminio para la remoción de sólidos suspendidos está dada por la siguiente ecuación:

$$S = 86.4 Q(0.44 AL + DOCr + SS + A) \quad \text{Ecuacion (1)}$$

Dónde:

S: lodo producido, kg/d, base seca

Q: gasto, m³/s

Al: dosis de sulfato de aluminio como Al₂O₃

DOCr: carbón orgánico disuelto removido, mg/L

SS: sólidos suspendidos del agua cruda, mg/L

A: productos químicos adicionados tales como polímero, arcilla o carbón activado, mg/L.

6.2.2.5. Lodos producidos en el lavado de filtros.

El agua de retro lavado representa típicamente de 2 a 5 por ciento del agua total procesada. La cantidad de sólidos que se generan en el agua de retro lavado de los filtros de



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



arena depende de la carga de sólidos en el agua que se alimenta al filtro. (Comisión nacional del agua, 2016, p.179).

Comisión nacional del agua (2016), plantea que el volumen de agua de retro lavado se puede calcular de la siguiente manera:

$$V_{rl} = NA (T_{rl} t_{rl} + T_{ls} t_{ls})(24/CF) \quad \text{Ecuacion (2)}$$

Dónde:

V_{rl} : Volumen de retro lavado, m³/d

N: número de filtros

A: área del filtro, m²

T_{rl} : tasa de retrolavado, m/min

t_{rl} : Tiempo de retrolavado, min

T_{ls} : Tasa de lavado superficial, m/min

t_{ls} : Tiempo de lavado superficial, min

Cf: carrera del filtro, h

6.2.2.6. Manejo de lodos generados en la potabilización.

Por lo general, el objetivo principal del manejo de lodos es usualmente minimizar, mediante recuperación de materiales que pueden ser reciclados o reducción del contenido de agua, las cantidades de residuo al que debe darse disposición final. En la mayoría de los casos, el transporte y disposición final son los componentes que más impactan al costo total del manejo de residuos, por lo que la opción más económica es reducir la cantidad de material para disposición final. (Comisión nacional de agua, 2016, p.182)

Adicionalmente, el manejo de lodos reduce el impacto ambiental y hace posible cumplir con la normatividad existente por parte de las entidades encargadas, esto se estipula en la



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



resolución 0330 de 2017 que establece en el artículo 125 el tratamiento de los lodos generados durante la potabilización del agua, por consiguiente, los lodos evacuados de los procesos unitarios deberán ser sometidos a técnicas de homogenización, complementadas con tratamientos de espesamiento y deshidratación, de acuerdo a esto, bajo ninguna circunstancia se permite la descarga o almacenamiento final de lodos sin previo tratamiento, teniendo en cuenta la caracterización de los lodos para no afectar los cuerpos receptores (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2017, p.77).

Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones según la técnica escogida:

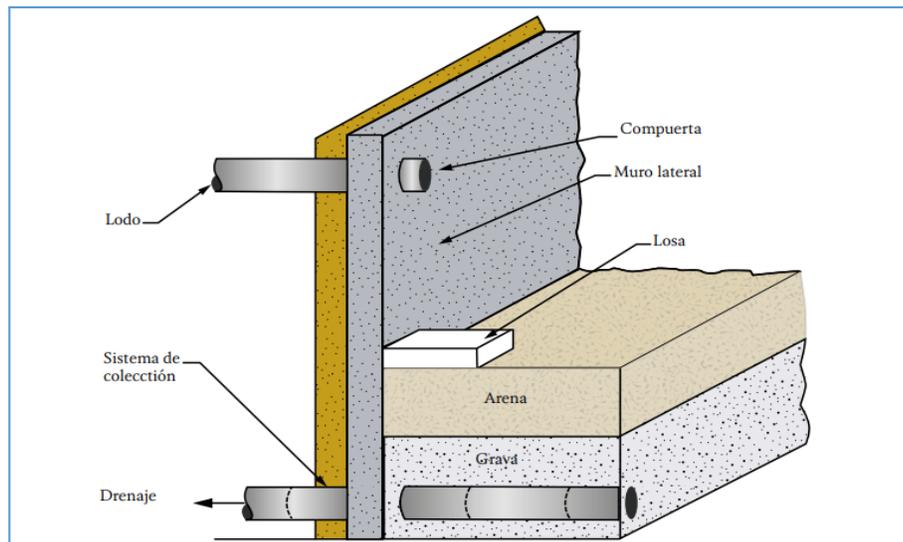
Homogeneización. Se tendrá que dimensionar una estructura en la cual se asegure mezcla completa, cuyo volumen sea como mínimo equivalente a poder almacenar el volumen de purga del sedimentador, más el 40 por ciento del volumen de lavado de un filtro. El tiempo de retención no podrá superar las 6 horas, la geometría del tanque podrá ser circular, rectangular, o de otra superficie que garantice flujo a pistón, siempre y cuando se garantice un nivel de potencia del mezclado superior a 5 W/m^3 . (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2017, p.77).

Espesamiento de lodos. Deberá diseñarse un sistema con tasa de carga superficial para lodos de hidróxido entre 15 a $25 \text{ kg/m}^2 / \text{d}$ y para lodos de ablandamiento entre 100 a $200 \text{ kg/m}^2 / \text{d}$, con tiempo de retención de entre 6 a 12 horas y concentración de sólidos media de salida del 6 por ciento. Se permitirá considerar tecnologías que empleen sistemas de espesamiento mecánico o por etapas combinadas ya sea gravitacional y mecánico, para lo cual se deberán justificar las diferentes tasas en función del tipo de tecnología y coagulante empleado en la planta. (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2017, p.77).

Deshidratación por lechos de secado. Es una técnica manual en donde se deben tener mínimo cuatro celdas. Su diseño depende del caudal de salida de la descarga de lodos o de espesamiento, con profundidades de aplicación de 0.3 a 0.9 metros. Para lodos sin acondicionar, se deben aplicar cargas de entre 15 a 20 lt de lodo/ m² /día, con un ciclo de secado de 3 a 4 días. (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2017, p.77).

Figura 14

Esquema de un Lecho de secado de lodo típico



Nota: Adaptado de Manual de tratamiento y disposición de lodos, de Comisión Nacional de agua, 2015.

Deshidratación por lagunas de secado. Es una técnica manual en donde se deben tener mínimo dos lagunas, considerándose que ocurren de manera implícita los procesos de homogenización, espesamiento y deshidratación. Diseñada a partir del parámetro de carga de sólidos comprendido entre 40 kg/ m² /d para regiones húmedas y 80 kg/ m² /d para regiones secas. La profundidad de la laguna debe estar entre 0.50 y 1.20 metros. (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2017, p.77).



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Deshidratación mecánica. Son los filtros prensa, filtros prensa de banda, filtros al vacío y centrifugas para decantar, que deben garantizar una concentración de sólidos entre 25 a 35 por ciento a la salida, teniendo en cuenta especificaciones que deben ser entregadas al fabricante del equipo como la concentración de sólidos a la entrada, el tipo de composición del lodo, temperatura, y el caudal de lodo o carga de lodo afluente (según lo requiera el equipo). (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2017, p.77).

6.2.2.7. Disposición final de lodos.

Para la disposición final de lodos se utiliza, generalmente, un relleno sanitario, teniendo en cuenta que el traslado de los lodos de la planta a las instalaciones del relleno sanitario es el primer aspecto a considerar para este método de disposición. Para poder transportarse en maquinarias, el lodo debe tener una consistencia que permita un fácil manejo, esto se alcanza con un contenido de sólidos mayor a 20 por ciento. (Comisión nacional de agua, 2016, p.182)

Por otro lado, se puede dar un aprovechamiento o disposición final a estos residuos, tomando como referencia el decreto 1287 de 2014, el cual establece los criterios para el uso de biosólidos producidos a partir de los lodos generados en plantas de tratamiento de agua residual municipal. Aunque este decreto no sea específicamente para lodos de potabilización, se toman algunos criterios de acuerdo a las especificaciones y valores máximos permisibles de contaminantes, con el fin de posibilitar la aplicación de estos residuos en áreas establecidas mediante la categorización de los biosólidos que se clasifican en las categoría A y categoría B. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).

De acuerdo con la categoría y clasificación establecido en el decreto 1287 de 2014, los biosólidos pueden destinarse para los usos descritos en la siguiente tabla:



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Tabla 4

Usos para los biosólidos por categoría

Categoría	Usos
Categoría A	<ul style="list-style-type: none">- En zonas verdes tales como cementerios, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos.- Como producto para uso en áreas privadas tales como jardines, antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización.- En agricultura.- Los mismos usos de la Categoría B.
Categoría B	<ul style="list-style-type: none">- Aplicación a suelo agrícola- En plantaciones forestales- En la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados- Como insumo en procesos de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores para suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos, que modifiquen su calidad original. Los procesos de elaboración y características de los productos finales y su uso quedan sujetos a la regulación establecida por el ICA.- Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, absorción y adsorción.- Como insumo en la fabricación de materiales de construcción.- En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial. secundaria o terciaria.- En la operación de rellenos sanitarios tomo: cobertura diaria,



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



cobertura final de cierre y de clausura de plataformas y en actividades de revegetalización y paisajismo.

- Actividades de revegetalización y paisajismo de escombreras.
- En procesos de valorización energética.

Nota: adaptado de decreto 1287 de 2014, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014

Por otro lado, los biosólidos que no cumplan con los valores máximos permisibles establecidos para su clasificación en las Categorías A y B, podrán usarse en:

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



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



6.1.3. Marco normativo

Normatividad de lodos

- Resolución 0330 de 2017, por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS. (Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio, 2017)
- Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico Ras - 2000, En el título C “Sistemas de potabilización”. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).
- Decreto 1594 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. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).
- Decreto 1287 de 2014, por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. (Decreto 1287 de 2014).
- 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." (Resolución 1096, 2000).



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



6.1.4. Metodología

La implementación de este proyecto requiere de una metodología de enfoque mixto donde se establezcan las acciones a realizar y así dar respuesta a los objetivos señalados en esta investigación mediante características cualitativas y cuantitativas, de tal forma que se logre identificar mediante datos e información recopilada la mejor alternativa para el manejo de los lodos generados y disposición final en la PTAP Mamatoco.

Por consiguiente, se establecen tres fases principales: inicialmente en la Fase 1 se realiza una descripción detallada de los procesos que se realizan en la PTAP Mamatoco, mediante la recopilación de información. Posteriormente, en la Fase 2 el muestreo del agua cruda, al igual que de los lodos, y la caracterización fisicoquímica y microbiológica de estos residuos logra determinar su uso o disposición final por medio de la comparación con la normatividad existente. Finalmente en la Fase 3 se plantean diferentes alternativas para el manejo de lodos y mediante una metodología de selección se escoge la alternativa más viable de acuerdo a diferentes criterios de evaluación.

6.1.4.1. Fase 1: Recopilación de información.

El proceso inicial para el desarrollo de este proyecto se centra principalmente en la recopilación y análisis de información de la PTAP Mamatoco suministrada por ESSMAR E.S.P. a través de diferentes herramientas o componentes. Para el caso de este estudio se puede observar detalladamente en el numeral 4 del presente documento, las condiciones y descripción de cada proceso que conforma este sistema de potabilización.

6.1.4.2. Fase 2: Muestreo de agua cruda.

Para determinar la cantidad de lodos producidos es necesario realizar un análisis del agua cruda que ingresa a la planta, con el fin de conocer los valores de sólidos totales y



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



suspendidos, de igual forma el comportamiento de las turbiedades que se presentan en los diferentes eventos de lluvias y sequias comprendido en un periodo de tiempo. Se recomienda realizar la toma de muestra y el análisis de lodos durante el trayecto de 6 meses, ya que, en este lapso de tiempo se evidencian las diferentes condiciones climáticas que son determinantes para los rangos de turbiedad. El resultado de estos datos será de gran determinación para el cálculo de la producción de lodos mediante la ecuación 1 del presente documento.

Se muestra en la siguiente tabla las técnicas utilizadas para realizar los análisis correspondiente, mediante la referencia de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Tabla 5

Técnicas recomendadas para el análisis de agua cruda

Parámetro	unidad	Procedimiento analítico recomendado	
		método	técnica
Turbiedad	UNT	SM 2130 B	Nefelometrico
Sólidos totales	mg/l	SM 2540 G	Secado a 103°C-105°C
Sólidos suspendidos	mg/l	SM 2540 B	Secado a 103°C-105°C.

Nota: adaptado de Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, de Resolución 0288, 2019.

6.1.4.2.1. Muestreo de lodos

La toma de muestra de los lodos se debe realizar directamente de las unidades en la cual se produce la mayor proporción de estos residuos, de acuerdo a Jorge Arboleda (2000) “El proceso de sedimentación produce entre el 2% y el 4% de lodos de la cantidad de caudal que



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



procesa y los lodos de lavado de filtros, entre el 1% y el 2% del caudal procesado.” Por tal razón, las tomas se realizarán en el fondo de los sedimentadores y en el sistema de desagüe de los filtros, para el presente propósito, se debe dar especial énfasis a las técnicas de recolección y manipulación de las muestras.

6.1.4.2.2. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos

Para la caracterización de los lodos se deberá realizar el análisis de diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Los parámetros correspondientes a esta caracterización se estipulan dentro de los análisis establecidos en el decreto 1287 de 2014, que aunque es para los biosólidos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, brinda algunos parámetros de seguimiento a los lodos provenientes de plantas potabilizadoras y así lograr determinar el uso más viable. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).

La elección de un método analítico, en general, quedará en libertad para el laboratorio encargado de realizar el análisis, teniendo como única restricción la de que el método seleccionado debe cumplir con las exigencias de exactitud, precisión y límite de detección requeridos. (Ministerio de desarrollo económico, 2000).

Se podrán tomar como referencia básica los métodos de muestreo y análisis reconocidos internacionalmente (EPA Environmental Protection Agency part 503, ASTM - American Society for Testing and Materials, APHA - AWWA - WEF - Standard Methods, NTC - Normas Técnicas Colombianas, ISO - IEC - International Electrotechnical Commission y los métodos publicados aplicados a biosólidos establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM). (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Se presenta en la siguiente tabla una lista de parámetros establecidos de conformidad con lo dispuesto anteriormente para caracterizar los lodos generados en la PTAP Mamatoco y posteriormente categorizar para brindar una disposición final.

Tabla 6

Características fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos

Parámetro	Unidad	Procedimiento analítico recomendado		Categoría biosólidos Valores máximos permisibles	
		método	técnica	Categoría A	Categoría B
Aluminio	mg/l	EPA 3050 B, SM 3111 D	Digestión acida - Espectrofotometría de absorción atómica.	-	-
Arsénico	mg/l	EPA 3050 B - SM 3114 C	Digestión Ácida - Espectrofotométrico de Absorción Atómica - Generación de Hidruros Continuo	20.0	40.0
Cadmio	mg/l	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión acida - Espectrofotometría Absorción Atómica con Llama Directa Aire - Acetileno.	8.0	40.0
Cobre	mg/l	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión acida -Espectrofotometría Absorción Atómica con Llama Directa Aire - Acetileno.	1.000.0	1.780.0
Cromo	mg/l	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión acida - Espectrofotometría Absorción Atómica con Llama Directa Óxido Nitroso - Acetileno.	1.000.0	1.500.0
Mercurio	mg/l	SM 3112 B	Espectrofotométrico de Absorción Atómica - Vapor Frío	10.0	20.0
Molibdeno	mg/l	EPA 3050 B, SM 3111 D	Digestión ácida -Espectrofotometría de Absorción Atómica llama Óxido Nitroso - Acetileno.	18.0	75.0
Níquel	mg/l	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión acida - Espectrofotometría Absorción Atómica con Llama Directa Aire - Acetileno.	80.0	420.0



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Plomo	mg/l	EPA 3050 B – SM 3111 B	Digestión acida - Espectrofotometría Absorción Atómica con Llama Directa Aire - Acetileno	300.0	400.0
Selenio	mg/l	EPA 3050 B - SM 3114 C	Digestión Acida - Espectrofotometría Absorción Atómica - Generación de Hidruros Continua,	36.0	100.0
Zinc	mg/l	EPA 3050 B, SM 3111 B	Digestión acida - Espectrofotometría Absorción Atómica con Llama Directa Aire - Acetileno.	2.000.0	2.800.0
Coliformes Fecales	UFC	SM 9223 B	Sustrato Enzimático Multicelda	<1.00 E (+3)	<2.00 E (+6)
Huevos de Helminths Viabiles	Huevos de Helminths viabiles	NOM-004- SEMARNAT- 2002	Método para la cuantificación de huevos de helminths en lodos y biosólidos.	<1.0	<10.0
Salmonella sp.	UFC	SM 9225 C 3	Número Más Probable - Colorimetría Miniaturizada Simple y Avanzada Electrométrico.	Ausencia	<1,00 E (+3)
pH	Unidad	EPA 9045 D		-	-
DBO	mg/l	SM 5210 B	Incubación 5 días y luminiscencia.	-	-
DQO	mg/l	SM 5220 D	Reflujo cerrado y colorímetro.	-	-
Humedad	%	ASTM D 2216-98	Gravimétrico.	-	-

Nota: lista de parámetros para el análisis de lodos, adaptado de lista de laboratorios ambientales acreditados por el Ideam – matriz suelo, lodo y sedimento, Laboratorios acreditados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, bajo los lineamientos de la norma NTC-ISO/IEC 17025.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Dentro de los parámetros anteriormente descritos, se incorporan otros de gran importancia como el aluminio, ya que este metal es el componente principal del coagulante utilizado en la planta, y otros como el pH, DBO, DQO y humedad, que no hacen parte originalmente de los parámetros exigidos por la normatividad aplicada para el caso de estudio, pero que se pueden relacionar con las características de los lodos de sales de aluminio expuesta por romero observadas en la tabla 1 de este documento.

Se realiza una estimación de los costos a la caracterización de los lodos que es de importancia para el desarrollo de este proyecto, por lo tanto, se presenta la propuesta económica para el monitoreo y análisis de muestras de lodo, variables del decreto 1287 de 2014, por el laboratorio SIAMA S.A.S. (Ver Anexos).

6.1.4.3. Fase 3: Planteamiento de las alternativas para el tratamiento del lodo.

Desde un punto de vista técnico, el objetivo del manejo de lodos es usualmente disminuir el contenido de agua, estabilizar el lodo, reducir el contenido de microorganismos patógenos y darle un uso o una disposición final, reduciendo el impacto ambiental y hacer posible el cumplimiento de los requerimientos de disposición que se establece en la normatividad. (Comisión nacional de agua, 2015, p.74).

Dado a esto, un sistema de manejo de residuos puede estar conformado por una o más etapas de tratamiento, entre ellos, el espesamiento por gravedad, acondicionamiento químico, deshidratación, así como el reúso o recuperación de materiales. Teniendo esto en cuenta se estableció la técnica de deshidratación de lodos residuales como el tratamiento más viable, considerando que es más aplicable en la parte técnica y operativa en la planta de tratamiento de agua potable Mamatoco. (Comisión nacional de agua, 2016, p.183).



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Dentro de la técnica de deshidratación de los lodos se encuentran diferentes métodos estos pueden ser naturales o mecánicos:

Métodos naturales. En este grupo se incluye el uso de lechos de secado y lagunas de espesamiento y secado. Son los más económicos y se requiere disposición de terreno en las plantas potabilizadoras para su aplicación. (Comisión nacional de agua, 2016, p.187).

Métodos mecánicos. Se aplican en instalaciones donde no hay disponibilidad de terreno, donde las condiciones ambientales no son favorables para instalar métodos naturales o cuando se requiere producir altas concentraciones de sólidos (Comisión nacional de agua, 2016, p.188).

Se describe a continuación mediante una matriz comparativa las diferentes tecnologías de deshidratación existentes que se establecen como las posibles alternativas para el tratamiento de los lodos generados en la PTAP Mamatoco.

Tabla 7

Matriz comparativa de los métodos de deshidratación

Alternativas	Métodos de deshidratación	Ventajas	Desventajas
1	Centrifugas	<ul style="list-style-type: none">- Buena contención de olores, da una apariencia limpia, arranque rápido.- Produce una torta de lodo relativamente seca.- Bajo costo de capital en relación con la capacidad de tratamiento.- Necesita poco espacio de construcción.	<ul style="list-style-type: none">- Problemas de mantenimiento por un alto desgaste de las piezas.- Requiere desarenado y posiblemente un desmenuzador o triturador en la línea de alimentación.- Requiere de personal experto para el mantenimiento.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



		<ul style="list-style-type: none">- El centrifugado contiene una concentración de sólidos suspendidos moderadamente alta.
2	Filtro prensa de bandas	<ul style="list-style-type: none">- Requerimientos bajos de energía.- Costos de capital y operación. relativamente bajos- Mecánicamente. menos complejos y su mantenimiento es fácil de realizar.- Máquinas de alta presión son capaces de producir un lodo muy seco.- Requiere un mínimo esfuerzo para el paro del equipo. <ul style="list-style-type: none">- Problemas de olores.- Requiere un desmenuzador o triturador de lodos en la línea de alimentación.- Sensible a las características del lodo alimentado.- El funcionamiento automático no es recomendable.
3	Filtro prensa de placas	<ul style="list-style-type: none">- Alta concentración de sólidos en la torta.- Sólidos suspendidos bajos en el filtrado. <ul style="list-style-type: none">- Operación por lotes.- Altos costos de equipo.- Altos costos de mano de obra.- Requiere de una estructura de soporte especial.- Requiere de una gran área para la instalación del equipo.- Requiere personal especializado para el mantenimiento.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



			<ul style="list-style-type: none">- Se incrementa la cantidad de sólidos debido a la adición de productos químicos.
4	Lechos de secado	<ul style="list-style-type: none">- Método de bajo costo de capital, donde la tierra está disponible.- Requiere poca atención y habilidades del operador.- Consumo de energía bajo.- Bajo o ningún consumo de productos químicos.- Mayor contenido de sólidos que los métodos mecánicos.	<ul style="list-style-type: none">- Requiere grandes extensiones de tierra.- Requiere un lodo estabilizado.- En el diseño se requiere considerar los efectos del clima- Visible al público en general.
5	Lagunas	<ul style="list-style-type: none">- Bajos consumos de energía.- No consume químicos.- La materia orgánica se estabiliza aún más.- Bajo costo de capital, cuando hay disponibilidad de terreno.- Se requiere poca habilidad para la operación.	<ul style="list-style-type: none">- Problemas potenciales de olores y vectores.- Problemas de contaminación del agua subterránea.- Se necesitan mayores extensiones de terreno que los medios mecánicos.- Puede tener un aspecto sucio.- En el diseño se deben considerar los efectos del clima.

Nota: adaptado de Manual de tratamiento y disposición de lodos, de Comisión Nacional de Agua, 2015.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



De acuerdo a lo expuesto en la tabla anterior se puede definir las alternativas más viables, dentro de estas se encuentran: las centrifugas, filtros prensa de banda y lechos de secado.

Se descartan las opciones de filtros prensa de placas, dado que es una tecnología con altos costos de capital, mayor cantidad de químicos para el acondicionamiento, en algunos casos se requiere un recubrimiento especial, la remoción manual de la torta por adherencia y altos costos de operación y mantenimiento.

Por otra parte las lagunas de secado es una técnica con un desempeño similar al de los lechos de secado, se afecta por el clima, la precipitación y las bajas temperaturas inhiben la deshidratación, requieren de un gran terreno disponible y además debe evitarse la percolación hacia los mantos acuíferos, por lo que también se descarta esta técnica para la selección de alternativas (Comisión nacional de agua, 2015, p.350)

6.1.4.3.1. Metodología para la selección de la alternativa en el tratamiento del lodo.

La metodología para seleccionar un sistema de tratamiento debe considerar el uso eficiente de los recursos, la protección del ambiente y el manejo o disposición final de todos los desechos, teniendo en cuenta diferentes aspectos tales como el cumplimiento de los requisitos de tratamiento, costo de inversión, costo de operación y mantenimiento, El mecanismo de selección de alternativas será mediante la matriz de selección frente a definiciones de criterio.

La siguiente tabla nos muestra los criterios a evaluar con su respectiva observación.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Tabla 8

Criterios de evaluación para la selección de alternativa

criterios de evaluación	Observaciones
Eficiencia del sistema	Este criterio hace referencia a la eficacia que tiene cada técnica durante su proceso, teniendo en cuenta que la tecnología escogida sea viable tanto técnica como económicamente.
Costo de implementación	La disponibilidad del recurso económico es fundamental para la selección de la tecnología apropiada para la planta de tratamiento, considerando que existe mayor inversión en unas técnicas más que en otras.
Costo de operación y mantenimiento	El presupuesto requerido para la operación y mantenimiento es de gran importancia para mantener el proceso en buenas condiciones,
Requerimiento de área para el sistema	Cada técnica tiene especificaciones determinadas para su diseño, entre ellas, el área del terreno a utilizar, estas pueden ser reducidas o en su defecto de grandes extensiones.
Consumo de químicos y energía	Los recursos necesarios para el sostenimiento de la técnica escogida es un factor determinante a la hora de escoger la alternativa, dado que, los costos incrementarían en el consumo de químicos y energía solo si la técnica lo requiere.
Aspectos ambientales	La técnica a escoger para el manejo de lodos ira asociado a estudios ambientales, necesario para determinar qué alternativas



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



	generen condiciones ambientales aceptables y que no tenga mayor incidencia en la generación de olores, vectores,
Calidad del lodo obtenido en el proceso	Se deberá tener en cuenta las características de la torta de lodos al final del proceso para su disposición final.
Mano de obra calificada requerida	Se debe considerar el grado de capacitación que requiere el personal de operación.

Nota: Elaboración propia.

6.1.4.3.2. Selección de la alternativa para el tratamiento del lodo.

Se asigna una calificación cuantitativa de acuerdo a la importancia que tiene cada criterio, teniendo en cuenta los factores de mayor importancia para la selección del tratamiento más adecuado.

Tabla 9

Calificación de criterios para cada alternativa

	Calificación
1	Muy Bajo
2	Bajo
3	Aceptable
4	Alto
5	Muy Alto

Nota: Elaborado por el autor

Considerando los criterios de evaluación que fueron establecidos en la tabla 7, se pasa a la selección de la tecnología más apropiada para la PTAP Mamatoco disponible para el tratamiento de lodos



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Tabla 10

Matriz de selección de alternativa

ALTERNATIVAS			
Criterios de evaluación	1. Centrifugas	2. Filtro prensa de bandas	3. lechos de secado
Eficiencia del sistema	3	3	5
Costo de implementación	3	3	3
Costo de operación y mantenimiento	1	2	4
Requerimiento de área para el sistema	5	5	2
Consumo de químicos y energía	2	2	4
Aspectos ambientales	4	3	3
Calidad del lodo obtenido en el proceso	3	3	5
Mano de obra calificada requerida	1	2	4
Total	22	23	30

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz de selección de alternativas, los lechos de secado obtuvieron la mayor calificación frente a los criterios de evaluación, dado que, es una tecnología con una eficiencia considerablemente buena en cuanto a la concentración de sólidos en comparación a otras alternativas como las centrifugas, que su mayor dificultad en la operación es la disposición del concentrado, el cual presenta altas concentraciones de sólidos suspendidos no sedimentables.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Por otra parte, los lechos de secado son una tecnología viable técnica y económicamente, puesto que, requiere de bajo costos de operación y mantenimiento, como también de bajos insumos, tales como; la energía y químicos utilizados. Esto es una gran ventaja frente a las centrífugas y filtros para la deshidratación de lodos, ya que estas requieren acondicionamiento químico para alcanzar los resultados requeridos, adicionando mayor cantidad de polímero para obtener una mejor compactación del lodo y una torta más seca.

Finalmente esta técnica no exige mano de obra calificada para el proceso y requiere poca atención y habilidades del operador a diferencia de los métodos mecánicos.

6.1.5. *Formulación del cronograma de implementación del proyecto*

Se establece a continuación un cronograma en el cual se indica las actividades y se define un periodo de construcción para así poder establecer los requerimientos de tiempo según la actividad.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



6.1.6. **Criterios de diseño básico para el tratamiento de lodos.**

Lechos de secado. Los lechos de secado son generalmente rectangulares para permitir el retiro o acopio del lodo con un cargador frontal. Las dimensiones pueden ser de 4.5 a 18 m de ancho y de 15 a 45 m de largo, con paredes típicamente de concreto. Por lo general, se colocan de 10 a 23 cm de arena y de 20 a 46 cm de grava graduada o piedra. La arena es generalmente de 0.3 a 1.2 mm de diámetro y tiene un coeficiente de uniformidad menor de 5.0. La grava normalmente se clasifica de 0.3 a 2.5 cm de diámetro efectivo. (Comisión nacional de agua 2015b, p.334).

Anteriormente la tubería de desagüe inferior o drenaje era normalmente de arcilla vitrificada, pero actualmente se utiliza más la tubería de plástico. Las tuberías son mayores de 10 cm de diámetro, cuentan con una separación de 2.4 a 6 m de distancia y una pendiente mínima de 1 por ciento. (Comisión nacional de agua 2015b, p.334).

Dado a que la alternativa más viable para el tratamiento de lodos generados en la Ptap Mamatoco fue la técnica de lechos de secado, se describe a continuación las características con mayor detalle de diseño para la construcción de este sistema. (Comisión nacional de agua 2015b, p.334).

Paredes laterales. El lecho de secado debe tener paredes verticales con un bordo libre (arriba de la capa de arena) de 0.5 a 0.9 metros. Las paredes se forman de tierra, tabloncillos de madera preferentemente tratados para evitar pudrición; viguetas de concreto; concreto reforzado o bloques de concreto colocados alrededor de la capa de arena y extendidos hacia el bajo dren de grava, como una manera de evitar la penetración de hierbas y pasto. (Comisión nacional de agua 2015b, p.334).



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Bajo dren. Generalmente se construye de tubería perforada de plástico o arcilla vitrificada, con una pendiente hacia un colector principal o tubería de salida. (Comisión nacional de agua 2015b, p.334).

Tubería principal del bajo dren. Es un tubo de no menos de 100 mm de diámetro y una pendiente mínima de 1 por ciento. La distancia entre la tubería es entre 2.5 a 6 m y toma en cuenta la forma de retiro del lodo para no dañar el bajo dren (Comisión nacional de agua 2015b, p.334).

Membrana impermeable. En caso de que las infiltraciones pongan en peligro el agua subterránea, se sella el piso con una membrana impermeable. El área alrededor del sistema del bajo dren se rellena con grava gruesa (Comisión nacional de agua 2015b, p.334).

Capa de grava. La grava es graduada y tiene una profundidad de 200 a 460 mm, con el material relativamente grueso en el fondo. Las partículas de grava varían entre 3 y 25 mm de diámetro. (Comisión nacional de agua 2015b, p.334).

Capa de arena. La profundidad de la capa de arena varía de 200 a 460 mm; sin embargo, se sugiere una profundidad mínima de 300 mm, lo que asegura un buen efluente y la reducción de las pérdidas de arena debido a las operaciones de limpieza. La arena se compone de partículas limpias, duras, resistentes, libres de arcilla, limo, polvo u otra materia extraña; un coeficiente de uniformidad no mayor de 4.0, pero de preferencia debajo de 3.5; y un tamaño efectivo de los granos de arena entre 0.3 y 0.75 mm. Es posible el uso de grava pequeña y carbón de antracita triturado a tamaño efectivo de 0.4 mm de diámetro. (Comisión nacional de agua 2015b, p.334).



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Divisiones. Para la remoción manual del lodo, los lechos de secado están divididos en secciones de 7.5 m de ancho, pero dependen del método de remoción utilizado. Se han construido lechos con longitudes de 30 a 60 m. Sin embargo, si se van usar polímeros, la longitud no deberá exceder de 15 a 20 m para evitar problemas de distribución del lodo. Las divisiones pueden componerse de terracería o paredes construidas con bloques de concreto, concreto reforzados, tablonos y postes ranurados. En caso de utilizar tablonos, estos se extienden de 0.6 a 0.9 m debajo de la capa de grava. (Comisión nacional de agua 2015b, p.335).

Decantadores o sistema de recolección de agua. Se instala un sistema para el decantamiento y retiro del sobrenadante ya sea en forma continua o intermitente, en el perímetro del lecho. Los decantadores son útiles en el caso de lodos secundarios relativamente diluidos, lodos tratados con polímeros y en la remoción de agua pluvial. (Comisión nacional de agua 2015b, p.335).

Canal de distribución de lodo. El lodo se aplica a las distintas subdivisiones de los lechos a través de conductos cerrados o tuberías a presión con válvulas en las salidas de cada sección de lecho, o a través de un canal abierto con aberturas laterales controladas mediante compuertas manuales. Después de cada uso, la limpieza del canal es más fácil. En cualquier caso, se requiere una losa de concreto de 130 mm de espesor y 0.90 m² de superficie para la recepción del lodo y así evite la erosión de la superficie de arena. (Comisión nacional de agua 2015b, p.335).

Rampas y pasillos. Si se utiliza un camión para la remoción de la torta seca, se requieren rampas y pasillos de concreto a lo largo del eje central de cada sección. (Comisión nacional de agua 2015b, p.335).

6.2. Diagnostico general de las condiciones en las que se encuentran los pozos subterráneos de la ciudad de santa marta.

Dentro de las actividades desarrolladas, se realizó un recorrido para observar en qué condiciones se encuentran los pozos que hacen parte del abastecimiento de la ciudad de santa marta. El sistema cuenta con 53 pozos en estado operativo que captan del acuífero de Santa Marta y del acuífero de Gaira. El tratamiento realizado es la desinfección, la cual se hace aplicando una solución de hipoclorito de Sodio mediante una bomba dosificadora conectada a la tubería de impulsión de la bomba del pozo. Dentro de esto se llevó a cabo la reconstrucción del pozo Inem I, el cual se encontraba sin funcionar debido a las condiciones en las que se encontraba.

Figura 15

Recorrido de los pozos en la ciudad de santa marta



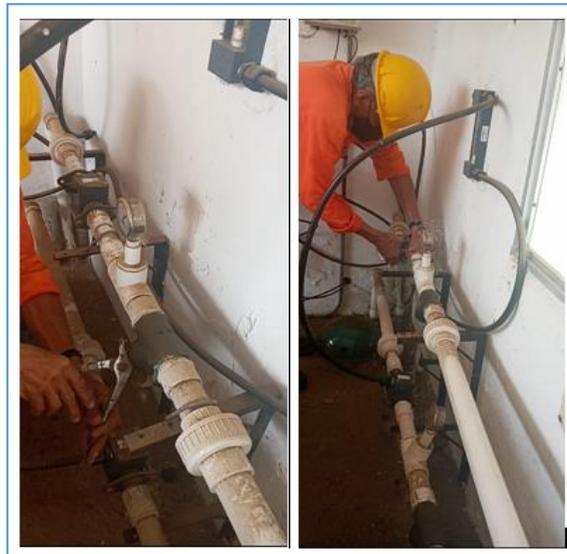
Nota: Adaptado de Empresa de Servicios Públicos del Distrito de Santa Marta ESSMAR E.S.P.

6.3. Ejecución de cronogramas de mantenimiento de equipos y unidades en PTAP

Los mantenimientos son una labor indispensable para garantizar el máximo rendimiento de los procesos en el sistema de potabilización, por esto fue de gran importancia apoyar en la ejecución de los mantenimientos realizados del sistema de dosificación de cloro gas en la PTAP Mamatoco, para esto se conto con el apoyo de los operadores de la cuadrilla de cloración.

Figura 16

Mantenimiento al sistema de dosificación de cloro gas

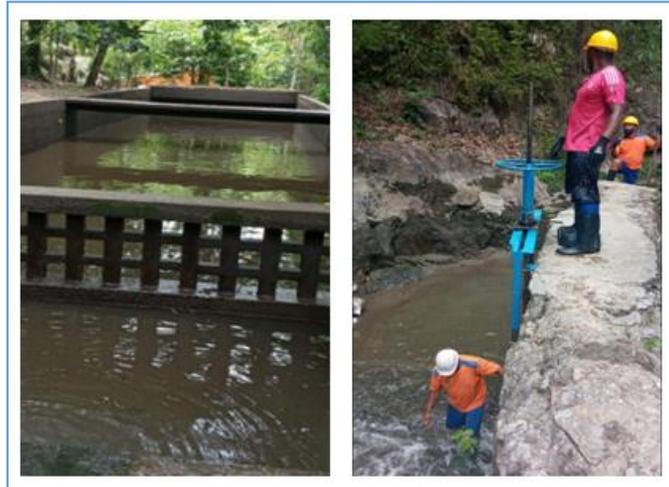


Nota: Adaptado de Empresa de Servicios Públicos del Distrito de Santa Marta ESSMAR E.S.P.

Por otro lado, a causa de las jornadas de lluvias que se evidenciaron, fue necesaria la programación de mantenimientos a las bocatomas y desarenadores ubicados en río paso del mango y río piedras en la vereda Transjordania, así como también a la cámara rompe presión ubicada en la línea de río piedras y en las unidades de sedimentación en la PTAP Mamatoco, con el fin de prevenir la acumulación de material sólido y garantizar un buen funcionamiento de las unidades del sistema.

Figura 17

Mantenimientos a desarenadores y captación de río paso del mango y río piedras



Nota: Adaptado de Empresa de Servicios Públicos del Distrito de Santa Marta ESSMAR E.S.P.

Figura 18

Mantenimiento a las unidades de sedimentación de la PTAP Mamatoco y la cámara de rompe presión



Nota: Adaptado de Empresa de Servicios Públicos del Distrito de Santa Marta ESSMAR E.S.P.

6.4. Implementación de sistema de dosificación de coagulante a gravedad en la PTAP Mamatoco

La implementación del sistema de coagulación a gravedad como una medida de contingencia, se llevó a cabo bajo las directrices del jefe de planta, con el propósito de brindar una mejora en las operaciones en caso de que suceden situaciones que coloquen en riesgo el proceso del tratamiento, como el que las bombas dosificadores no brinden un buen funcionamiento en su momento o hayan fallos de energía, rápidamente se tenga que recurrir a esta medida. Este sistema consiste en dos tanques de 500 litros conectados desde las bombas dosificadoras de coagulante, el cual funciona como llenado, y de allí salen dos tuberías conducidas a las cámaras de aquietamiento.

Figura 19

Sistema de dosificación de coagulante bajo gravedad



Nota: Adaptado de Empresa de Servicios Públicos del Distrito de Santa Marta ESSMAR E.S.P.



**Informe de Prácticas Profesionales como
Opción de Grado**



7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																								
ACTIVIDADES	FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO			
	SEMANAS																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Diagnostico general de las condiciones en las que se encuentran los pozos subterráneos de la ciudad de santa marta.	■	■	■	■																				
Ejecucion de cronogramas de mantenimiento de equipos y unidades en PTAP						■					■					■						■		
Implementación de sistema de dosificación de coagulante a gravedad en la PTAP Mamatoco																	■	■	■	■				
Llevar las existencias y consumo de materias primas como coagulante, cloro gas e hipoclorito.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Actualizar día a día los archivos magnéticos de estadísticas realizacion de informes.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Nota: Elaboración propia



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



8. CONCLUSIONES

Dentro de la recolección de información realizada en la empresa de servicios públicos del distrito de santa marta ESSMAR E.S.P, se identificó que el tratamiento de la PTAP Mamatoco es de tipo convencional, y que dentro de este sistema los que promueven la producción de lodos son los procesos de la floculación, sedimentación y filtración, especialmente las unidades de sedimentación de agua cruda, ya que, favorece en gran medida la producción de sedimentos debido a la adición de coagulantes como el policloruro de aluminio PAC utilizado en este caso.

Se logró determinar dentro de las tecnologías evaluadas para el manejo de lodos generados en la PTAP Mamatoco, la alternativa con mayor aplicabilidad dado a las condiciones de la planta y otros factores de gran importancia, esto se hizo posible mediante una revisión documental a nivel nacional e internacional, teniendo en cuenta que, unas más que otras tienen mayor viabilidad en este campo dado a los costos de inversión en operación y mantenimiento.

Por medio de herramientas de evaluación como la matriz de selección, fue posible establecer la alternativa de tratamiento de lodos que mejor se acomodó al caso de estudio. De acuerdo a los resultados obtenidos se estableció que el tratamiento de deshidratación por lechos de secado es la técnica más apropiada, siempre y cuando la planta cuente con las condiciones específicas para la construcción de este sistema como lo es el requerimiento de terreno.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



9. BIBLIOGRAFÍA

Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (3ra ed.).

Comisión Nacional Del Agua. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.*

Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Tratamiento y Disposición de Lodos. Obtenido de

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015.%20Manual%20Tratamiento%20y%20Disposici%C3%B3n%20de%20Lodos%2032.pdf

Comisión Nacional Del Agua. (2015b). *Manual de agua potable, alcantarillado y Saneamiento*

Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales:

Tratamiento y Disposición de Lodos. Obtenido de

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015b%20Tratamiento%20de%20lodos.pdf

Comisión Nacional Del Agua. (2016). *Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento.* Obtenido de

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202016.%20Dise%C3%B1o%20de%20plantas%20potabilizadoras.pdf

Empresa de Servicio Públicos del Distrito de Santa Marta (Essmar E.S.P.). (s.f). *procedimiento tratamiento agua potable.*

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2014). Decreto 1287 de 2014, *por el cual se*

establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico Ras.*

Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio. (2017). *Resolución 0330: Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS.*

Romero Rojas, J. A. (2006). *Tratamiento de lodos. En Purificación del agua.* Escuela Colombiana de Ingeniería.



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado



ANEXOS

Anexo 1. Propuesta de costos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de lodo por el laboratorio SIAMA S.A.S (propuesta N 211920).

Análisis fisicoquímico del lodo					
Método y técnica	LdC	Und	Valor	Cant	Total
***Arsénico					
A.A Horno de grafito USEPA 3050 B	0,9241	mg/Kg	63,700	1	63,700
*** Cadmio					
Digestión acida-aire directo- llama acetileno USEPA 3050B	1,98	mg/Kg	55,000	1	55,000
*** Cobre					
Digestión acida-aire directo- llama acetileno USEPA 3050B EPA 7000 B	18,69	mg/Kg	55,000	1	55,000
***Cromo					
EPA 3052B EPA 7000B Aire directo-Oxido nitroso-Llama	10,55	mg/Kg	55,000	1	55,000
***Mercurio					
EPA 3051A - EPA 200.8 - ICP/MS	0,15	mg/Kg	64,100	1	64,100
***Molibdeno					
EPA 3050B EPA 7000B- Oxido nitroso- llama de acetileno	5,31	mg/Kg	63,700	1	63,700
*** Níquel					
EPA 3050 B EPA 7000B digestión acida-aire directo-Llama de acetileno	20,09	mg/Kg	55,000	1	55,000
***Plomo					
EPA 3050 B EPA 7000B digestión acida-aire directo-Llama de acetileno	19,44	mg/Kg	55,000	1	55,000
***Selenio					
USEPA 3050 B- A.A-Horno de grafito	2	mg/Kg	63,700	1	63,700
***Zinc					
Digestión acida-Aire directo-Llama de acetileno EPA 3050B EPA 7000 B	5,24	mg/Kg	55,000	1	55,000
El valor total es:			585,200		
Análisis microbiológico del lodo					
Método y técnica	LdC	Und	Valor	Cant	Total
Coliformes fecales					
NTC 4458		UFC/g de Biosólidos (Base Seca)	50,700	1	50,700
Fagos Somáticos					
St. Mth. 9224 B NOM-004-SEMA-RNAT-2002		UFC/g de Biosólidos (Base Seca)	50,700	1	50,700
Huevos de Helminths Viables					
MC MASTER NOM-004-SEMA-RNAT-2002		HHV/4g de Biosólidos (Base seca)	164,300	1	164,300
Salmonella spp					
SM 9260 B		Ausencia -presencia/100ml	50,700	1	50,700
El valor total es:			316,400		



Informe de Prácticas Profesionales como Opción de Grado

