

**DISEÑO DEFINITIVO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS EN LA
PLANTA DE POTABILIZACION DE EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. DEL
MUNICIPIO DE PAMPLONA**

**STEPHANY MENDIVIL MENDOZA
1094271500**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIAS CIVIL Y AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
PAMPLONA
2016**

**DISEÑO DEFINITIVO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS EN LA
PLANTA DE POTABILIZACION DE EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. DEL
MUNICIPIO DE PAMPLONA**

**STEPHANY MENDIVIL MENDOZA
1094271500**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Ambiental**

**Director
LIZETH AMPARO LOPEZ ARENIZ
Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIAS CIVIL Y AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
PAMPLONA
2016**

Nota de Aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Pamplona, Diciembre de 2016

A mi madre Consuelo Mendoza Gómez por su amor, apoyo e incesante motivación para lograr satisfactoriamente mis metas profesionales, y que a pesar de las adversidades que hemos enfrentado ha sido mi orientación para ser una mejor persona cada día.

A mi padre José Mendivil Cardenas que aunque no se encuentre físicamente entre nosotros, es el ángel que cuida de mi diariamente desde el cielo, brindándome la fortaleza para no decaer y seguir siempre adelante. Fue y seguirá siendo mi modelo a seguir, pues su gran corazón y su generosidad me llevaron a admirarlo como la gran persona que dejó lo mejor de sí para sus hijas.

De igual manera dedico este trabajo a mi hermana Sally Mendivil quien ha sido una gran inspiración en mi vida para luchar por las cosas que me proponga, mantener una actitud firme ante los problemas que se me presenten, e hizo sentar en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación.

AGRADECIMIENTOS

Al Creador de todo el Universo, que me ha dado la fortaleza suficiente para levantarme cuando a punto de caer he estado, por permitirme comprender la necesidad de prepararme académicamente; con toda la humildad de mi corazón agradezco la culminación de este trabajo y el logro de esta meta cumplida primeramente a dios.

A la Universidad de Pamplona por ser la academia donde crecí profesionalmente permitiéndome alcanzar satisfactoriamente mi carrera como Ingeniera Ambiental.

A todos y cada uno de los docentes del programa de Ingeniería Ambiental los cuales muy amablemente me proporcionaron sus conocimientos y consejos.

De igual modo a mi directora de trabajo de grado Ingeniera Química Lizeth López Areniz docente de la Universidad y Jefe de la Planta EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P., por asesorarme durante la elaboración de este gran proyecto, que sin su esfuerzo y dedicación prestada no hubiese podido ejecutar.

A los operarios de las Plantas de Tratamiento Cariongo y Monteadentro y la Microbióloga Marisol Suarez quienes me brindaron parte de sus conocimientos y toda su colaboración, los cuales fueron de mucha ayuda para desarrollar este trabajo.

Al personal del laboratorio de control de calidad de la Universidad de Pamplona por la colaboración y disposición desinteresada.

Por ultimo agradecerle a todos y cada uno de mis amigos quienes han sido parte importante durante mi etapa universitaria, especialmente a Diego Barrera quien me ha apoyado firmemente, de igual forma los años de amistad y experiencias vividas que tenemos equivalen a las cosas maravillosas que he aprendido de él.

CONTENIDO

GLOSARIO	13
RESUMEN	15
1. INTRODUCCION	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
3. JUSTIFICACION	18
4. OBJETIVOS	19
4.1. OBJETIVO GENERAL	19
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	19
5. MARCO REFERENCIAL	20
5.1. ANTECEDENTES.....	20
5.2. MARCO CONTEXTUAL	22
5.3. MARCO TEÓRICO	25
5.3.1. FORMACION DEL LODO.....	27
5.3.1.1. COAGULACION – FLOCULACION	27
5.3.2. EVACUACION DE LOS LODOS.....	30
5.3.2.1. Evacuación periódica.....	30
5.3.2.2. Evacuación continua.....	30
5.3.3. TIPOS DE LODOS	30
5.3.4. CARACTERISTICAS DE LOS LODOS	31
5.3.5. MANEJO Y TRANSPORTE DE LODOS.....	31
5.3.6. DISPOSICION FINAL DEL LODO	32
5.3.7. TRATAMIENTO DE LOS LODOS	32
5.3.7.1. Ecuador.....	33
5.3.7.2. Espesamiento.....	34
5.3.7.3. Acondicionamiento	34
5.3.7.4. Deshidratación.....	35
5.4. MARCO LEGAL	37
6. METODOLOGÍA.....	41
6.1. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE PURGA DE LOS SEDIMENTADORES 1 Y 2 DE LA PLANTA MONTEADENTRO.	41
6.2. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE LAVADO DE SEDIMENTADORES 1 Y 2 DE LA PLANTA CARIONGO Y MONTEADENTRO.	41
6.2.1. Vaciado de la unidad de sedimentación Cariongo.....	41
6.2.2. Vaciado de la unidad de sedimentación Monteadentro.....	42
6.3. METODOLOGIA EMPLEADA PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE LAVADO DE LOS FILTROS 1 Y 2 DE LA PLANTA CARIONGO.	42
6.3.1. Muestreo vaciado del filtro.....	42
6.3.2. Muestreo retrolavado del filtro	43
6.4. CUANTIFICACION DE LOS LODOS.....	43

6.5.	CARACTERIZACION DE LOS LODOS	43
6.5.1.	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ALUMINIO	43
6.6.	ACONDICIONAMIENTO DE LODOS	45
6.6.1.	PRUEBAS DE SELECCIÓN DEL POLIMERO INDICADO	45
6.7.	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	47
6.8.	DISEÑO	47
7.	ANALISIS DE RESULTADOS	48
7.1.	DESCRIPCION DE LAS UNIDADES GENERADORAS DE LODOS DE LAS PLANTAS DE AGUA POTABLE EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P.....	48
7.1.1.	UNIDAD DE SEDIMENTACION PLANTA CARIONGO.....	49
7.1.2.	UNIDAD DE SEDIMENTACION PLANTA MONTEADENTRO.....	51
7.2.	CUANTIFICACION DE LODOS EN LAS PLANTAS CARIONGO Y MONTEADENTRO	53
7.3.	CARACTERIZACION DE LODOS EN LAS PLANTAS CARIONGO Y MONTEADENTRO	57
7.3.1.	PURGA DE SEDIMENTADORES	57
7.3.2.	LAVADO DE FILTROS.....	60
7.3.3.	LAVADO DE SEDIMENTADORES	64
7.3.4.	DETERMINACION DE CONTENIDOS DE ALUMINIO EN LAS MUESTRAS	64
7.4.	ACONDICIONAR LOS LODOS SEGÚN EL POLIMERO SELECCIONADO 66	
7.5.	SELECCIÓN DE LA DESHIDRATACION MECANICA.....	71
7.6.	DISEÑO PRELIMINAR DEL TRATAMIENTO DE LOS LODOS	73
7.6.1.	Tanque Ecuallizador	73
7.6.2.	Tanque Espesador	74
7.6.3.	Acondicionamiento	74
7.6.4.	Deshidratación.....	74
7.6.5.	Tanque de almacenamiento y distribución	75
7.7.	PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS	76
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES	78
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
	ANEXOS	81
	Anexo 1 Implicaciones y requisitos asociados con los métodos convencionales de vertido.....	81
	Anexo 2. Vista planta de la Planta Cariongo	82
	Anexo 3. Vista frontal planta Cariongo	83
	Anexo 4. Lavado del tanque sedimentador	84
	Anexo 5. Lavado del filtro(Vaciado).....	84

Anexo 6. Lavado de filtro (Retrolavado)	85
Anexo 7. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola.....	85
Anexo 8. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario	86
Anexo 9. Caracterización del lodo producido en la planta potabilizadora Los Berros	86

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de Potabilización Cariongo	20
Tabla 2. Sistema de potabilización Monte dentro	20
Tabla 3. Residuos principales de plantas de tratamiento de agua	21
Tabla 4. Características de los lodos generados en las plantas de tratamiento de agua potable.....	26
Tabla 5. Concentración de lodos en el tratamiento de aguas.....	28
Tabla 6. Concentración de lodos sedimentados.....	31
Tabla 7. Caudales, tiempos y volúmenes de lodos en la unidad de sedimentación planta Cariongo.....	50
Tabla 8. Caudales, tiempos y volúmenes de lodos en la unidad de sedimentación planta Monte dentro.....	51
Tabla 9. Medición del tiempo de vaciado del sedimentador N° 1 planta Cariongo.....	52
Tabla 10. Estimación caudal promedio de lodos en el sedimentador N° 1 planta Cariongo.....	52
Tabla 11. Medición del tiempo de vaciado del sedimentador N° 2 planta Cariongo.....	52
Tabla 12. Estimación caudal promedio de lodos del sedimentador N° 2 planta Cariongo.....	53
Tabla 13. Caracterización de los lodos del lavado de sedimentadores plantas Cariongo y Monte dentro.....	60
Tabla 14. Determinación del contenido de aluminio en las muestras	61
Tabla 15. Volumen de agua clarificada según dosificación del polímero Catiónico 2470	62
Tabla 16. Volumen de agua clarificada según dosificación del polímero Catiónico 2062	62

Tabla 17. Volumen de agua clarificada según dosificación del polímero Aniónico.....	63
Tabla 18. Datos de acondicionamiento del lodo y determinación de parámetros.....	66
Tabla 19. Datos de acondicionamiento del lodo y determinación de parámetros.....	66
Tabla 20. Matriz de decisión de la alternativa de deshidratación de lodos	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las plantas de tratamiento de Agua potable Cariongo y Monte dentro	19
Figura 2. Reactivos para determinación de Aluminio	40
Figura 3. Polímeros acondicionamiento de lodos	42
Figura 4. Ensayo de jarras con los lodos	42
Figura 5. Ensayo de jarras con los lodos	43
Figura 6. Ubicación de las plantas de tratamiento de Agua potable y punto de descarga Cariongo y Monte dentro	44
Figura 7. Grafica de los datos ST	53
Figura 8. Grafica de los datos SS	54
Figura 9. Grafica de los datos de Turbiedad	55
Figura 10. Grafica de datos ST	56
Figura 11. Grafica de datos SS	57
Figura 12. Grafica de datos de Turbiedad	58
Figura 13. Grafica de datos de pH	59
Figura 14. Reacción de aluminio en muestras	61
Figura 15. Pruebas de acondicionamiento de los lodos	64
Figura 16. Lodo sedimentado con polímero Catiónico 2470	64
Figura 17. Lodo sedimentado con polímero Aniónico	65
Figura 18. Muestras de 50 ml de lodo dispuestas a filtrar	65
Figura 19. Diagrama del proceso de tratamiento de lodos en las plantas Cariongo y Monte dentro	72

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Implicaciones y requisitos asociados con los métodos convencionales de vertido	78
Anexo 2. Vista planta de la planta Cariongo	78
Anexo 3. Vista frontal planta Cariongo	79
Anexo 4. Lavado del tanque sedimentador	80
Anexo 5. Lavado del filtro (Vaciado)	81
Anexo 6. Lavado del filtro (Retrolavado)	81
Anexo 7. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola	82
Anexo 8. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario	83
Anexo 9. Caracterización del lodo producido en la planta potabilizadora Los Berros.....	83

GLOSARIO

AGUA CRUDA: Agua que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

AGUA POTABLE: Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 475 de 1998, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA: Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

BARREDOR DE LODOS: Dispositivo mecánico para recoger el lodo del fondo de los tanques.

CLARIFICACIÓN: Proceso de separación de los sólidos del agua por acción de la gravedad.

COAGULACIÓN: Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.

COAGULANTES: Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

DESARENADOR: Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.

EFLUENTE: Flujo proveniente de un sistema hidráulico.

FILTRACIÓN: Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

FLOCULACIÓN: Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

LODO: Contenido de sólidos en suspensión o disolución que contiene el agua y que se remueve durante los procesos de tratamiento.

OPERACIÓN: Conjunto de acciones para mantener en funcionamiento un sistema.

PLANTA DE POTABILIZACIÓN: Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

POLIMERO: Macromoléculas generalmente orgánicas formadas por la unión entre enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros.

pH: (Potencial Hidrogeno) Medida de acidez o alcalinidad de una disolución. Indica las concentraciones de iones hidrogeno presentes en determinadas disoluciones.

SOLIDOS SEDIMENTABLES: Cantidad de material que sedimenta una muestra en un periodo de tiempo. Determinados y expresados en función de volumen o de masa mediante volumetría y gravimetría respectivamente.

SOLIDOS TOTALES: Materia suspendida disuelta en medio acuoso, midiendo específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos).

TURBIEDAD: Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.

RESUMEN

La Empresa prestadora de Servicios Públicos de Pamplona, EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P., no posee ningún tipo de manejo para los lodos producidos en las unidades de sedimentación y filtración durante el proceso de potabilización de agua.

El presente trabajo se lleva a cabo en las plantas de tratamiento de agua potable Cariongo y Monte dentro ubicadas en la Ciudad de Pamplona, Norte de Santander, el cual se realizó con el fin de proponer un diseño conceptual eficiente que sea considerado el adecuado para el tratamiento de los lodos provenientes de las plantas de potabilización y que a su vez son descargados a un cuerpo de agua receptor, ocasionando afectaciones medioambientales y variaciones en los parámetros fisicoquímicos del río Pamplonita.

Todo esto se logró debido a la cuantificación y caracterización de los lodos para efectuar el acondicionamiento y un método de deshidratación apropiado, teniéndose en cuenta la alternativa para deshidratar lodos propuesta en un estudio anterior para estas plantas de tratamiento. En conclusión, se determinó un diseño definitivo que logre mitigar la problemática antes mencionada.

1. INTRODUCCION

El abastecimiento de agua apta para consumo de una población, es posible gracias al funcionamiento adecuado de una planta de tratamiento de agua potable, como es el caso de las plantas de EMPOPAMPLONA S.A E.S.P., que prestan el servicio de acueducto, mejorando la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Pamplona, Norte de Santander y atendiendo sus necesidades básicas con respecto a éste servicio público domiciliario.

Cada una de las operaciones llevadas a cabo dentro de la planta potabilizadora permiten la eliminación o reducción en gran parte de las condiciones propias del agua cruda que es captada para su tratamiento, obteniendo así agua con una serie de características óptimas para el uso y aprovechamiento de la misma. Los procesos empleados en todo el transcurso de la potabilización, además de los métodos utilizados y la disposición de recursos permiten el funcionamiento apropiado de las plantas, pero adicionalmente se generan diversos residuos tanto líquidos como sólidos, con especial atención en los lodos.

Los lodos producidos en los procesos de potabilización con diversas composiciones, frecuentemente y en la mayoría de los casos son vertidos directamente a las corrientes hídricas, considerándose casi que una práctica usual.

Dadas las grandes cantidades de lodos que se generan, la insuficiencia de espacio y la proporción de agua que poseen, la tendencia para su adecuado manejo busca reducir su volumen, concentrar y acondicionar los lodos, para aplicar posteriormente algún tipo de tratamiento o deshidratación.

Por consiguiente, en el presente proyecto se pretende presentar una propuesta de diseño para el sistema de manejo y tratamiento de lodos, que contemple las etapas necesarias para hacer una disposición adecuada de los mismos y eliminar su vertimiento directo a la corriente hídrica conocida como quebrada Monteadero y que constituye uno de los principales afluentes del río Pamplonita, de gran importancia para nuestro municipio y el departamento.

Para lograr el objetivo propuesto se realizaron una serie de toma de muestras de los lodos efluentes de las plantas y ensayos a nivel de laboratorio, análisis de tecnologías existentes, para llegar al diseño conceptual del sistema de tratamiento, que permita establecer las condiciones de espesamiento, acondicionamiento y deshidratación de los lodos, para su posterior disposición final, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua considerada como un sustento fundamental para la subsistencia de los seres vivos se ve afectada a raíz de condiciones antrópicas las cuales perturbando la dinámica natural de ella. Uno de los factores que afectan al medio en la ciudad de Pamplona es la actividad de potabilización del agua en la planta EMPOPAMPLONA S.A E.S.P la cual durante el proceso produce gran cantidad de lodos, cuya disposición final se realiza a un cuerpo de agua sin efectuar algún tipo de tratamiento previo.

Uno de los factores que afectan al medio en la ciudad de Pamplona es la actividad de potabilización del agua en la planta EMPOPAMPLONA S.A E.S.P la cual durante el proceso produce gran cantidad de lodos, cuya disposición final se realiza a un cuerpo de agua sin efectuar algún tipo de tratamiento previo. Análisis previos realizados a estos lodos, en una primera fase del estudio de los mismos, indican contenidos de materia orgánica, gran cantidad de sólidos, además contenido de metales que alteran las propiedades fisicoquímicas de la corriente hídrica, así como su cauce y entorno. (Castaño, 2016)

Raigosa manifiesta “Una de las preocupaciones más grandes es la descarga directa de los lodos aluminosos sobre cuerpos de agua dada la toxicidad del aluminio, el cual puede tener varios efectos negativos sobre las plantas”.¹ En el caso específico de los lodos producidos por la planta potabilizadora EMPOPAMPLONA S.A E.S.P los cuales son vertidos al cauce, desencadenan una serie de deterioros sobre la vegetación aledaña a la corriente de agua.

Este lodo proveniente de la planta que finalmente es depositado al cauce formando un listado de afectaciones medioambientales requiere un tratamiento y una respectiva disposición final, a razón de esto se ejecutará un proyecto con el fin de proponer diversas alternativas diferentes a la de lechos de secado para lograr obtener una deshidratación óptima del lodo, además generar un diseño factible del proceso de tratamiento que conlleve a una disposición y acondicionamiento del lodo producido durante la potabilización del agua en la planta.

¹ RAIGOSA Restrepo, M. A. (2012). Evaluación de alternativas para el manejo de lodos provenientes de las plantas de potabilización de agua de los municipios del Departamento de Risaralda mediante el análisis costo-beneficio. Universidad Tecnológica de Pereira. En: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2702/62839R149.pdf>

3. JUSTIFICACION

Los procesos de potabilización del agua conllevan la producción de lodos los cuales son vertidos directamente sobre una quebrada cuando se realiza evacuación de los mismos, cuando se realizan purgas y lavado de los sedimentadores y filtros, al no darle una adecuada disposición final, se contribuye de manera significativa a la contaminación de esta fuente hídrica afectando los recursos suelo, agua y aire.

El diseño y construcción inicial de las plantas de tratamiento del municipio de Pamplona no contempló el tratamiento de estos residuos, debido a los altos costos, insuficiencia de espacio y la cantidad generada no ha sido posible implementar un adecuado sistema de tratamiento que proporcione una solución definitiva para los mismos.

Dada esta problemática así como la legislación vigente que prohíbe su vertimiento directo, requiere buscar alternativas viables técnica y financieramente, en una primera fase se logró caracterizar y explorar preliminarmente los lodos generados y las opciones para el manejo de los mismos, sin embargo se requiere, estudiar otros aspectos y opciones de tratamiento que permitan obtener un mayor acercamiento frente a la solución definitiva para el manejo de estos residuos.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un diseño definitivo para el tratamiento de los lodos producidos durante el proceso de potabilización del agua en las plantas de tratamiento de EMPOPAMPLONA S.A E.S.P., que permita la adecuada disposición final de los residuos, el cumplimiento de la normatividad y el mejoramiento de las condiciones ambientales.

4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Cuantificar los lodos generados en las unidades de sedimentación y filtración de las plantas de tratamiento Cariongo y Monteadentro.
- Caracterizar física y químicamente los lodos generados en las unidades de filtración, buscando una relación entre las diferentes variables.
- Evaluar el comportamiento de polímeros que permitan determinar la mejor opción y las dosis óptimas para el acondicionamiento de los lodos.
- Formular alternativas distintas al del lecho de secado para la deshidratación de lodos.
- Seleccionar una alternativa para mejorar y aumentar el proceso deshidratación de los lodos.
- Diseñar conceptualmente un proceso de tratamiento de los lodos generados con base a los resultados obtenidos.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. ANTECEDENTES

Durante el proceso de potabilización de aguas superficiales surge la problemática de la generación de lodos los cuales atraviesan una serie de tuberías hasta llegar a su destino final habitualmente una corriente hídrica, como en este caso un afluente del río Pamplonita, alterando así las características físicas, químicas y biológicas del cauce, ocasionando una disminución de la calidad y el posible aprovechamiento que este pueda tener al ser captada con otros objetivos.

Evitar que estos lodos sean desechados a una fuente de agua y sean destinados a un medio en donde se le suministre un manejo adecuado, permite que las condiciones naturales del cauce no se vean afectadas y la contaminación reduzca en un gran porcentaje.

Al respecto Ramírez señala: “A nivel mundial y especialmente en Latinoamérica se han realizado estudios sobre el impacto que estos residuos producidos en dichas plantas pueden traer al medio ambiente. En países como México, donde los reglamentos y normas para la protección del ambiente son cada vez más estrictos existen leyes claras acerca del manejo de estos residuos que obliga a los responsables del manejo de plantas potabilizadoras a manejar sus métodos de tratamiento y disposición de los lodos”²

Es muy claro el papel de las plantas potabilizadora sobre el manejo correspondiente a los lodos producidos durante las operaciones de tratamiento del agua según la normatividad vigente, donde la disposición final no sea únicamente verter estos residuos a las cuencas originando la contaminación a los cuerpos de agua, además de ocasionar costos a la planta por el incumplimiento de las normas establecidas.

Sin embargo, es habitual que las plantas de tratamiento viertan el agua proveniente del lavado de los sedimentadores y filtros a las corrientes de agua vecinas, las cuales en su trayectoria van acumulando los residuos físicos y químicos, aumentando la aparición de fuertes olores y desechos, y en consecuencia se disminuye la calidad del agua.

² RAMIREZ, Guillermo. *Manejo de lodos producidos en la planta de tratamiento de agua potable, planta II, del municipio de Cartago, Valle*. Manizales, 2003. Trabajo de Grado (Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Pág. 1

Lo indicado para manejar un lodo y efectuar una alternativa asequible que permita aprovechar, acomodar y reutilizar estos residuos dependen de mecanismos que estén al alcance de la planta potabilizadora.

Garcés, et al, señalan que este tipo de lodo difiere normalmente de los generados en una planta de agua residual, debido básicamente a menores contenidos de materia orgánica, por lo que los procesos biológicos no resultan tan apropiados. Adicionalmente poseen gran cantidad de agua, que permiten reducir considerablemente el volumen de los lodos por distintos mecanismo. La tendencia actual es reducir su volumen, concentrándolos, antes de aplicarles algún tipo de tratamiento o deshidratación.(Garcés, et al, 2009)

En el Instituto Mexicano de Tecnología del agua efectuaron pruebas a nivel de laboratorio con los lodos generados en la planta potabilizadora de los Berros, para la evaluación de un tren de tratamiento que consiste en el espesamiento inicial de los mismos utilizando polímeros comerciales y la acidificación del lodo ya espesado para la recuperación de aluminio. Este procedimiento permite reducir hasta en un 97% el volumen del lodo. (Sandoval, 2012)

Escobar señala en estudio realizado para el acondicionamiento y deshidratación de lodos de plantas de agua potable, que éste requiere de algún tipo de acondicionamiento químico para producir una efectiva separación líquido / sólido. Los polímeros son eficientes como acondicionadores químicos y son ampliamente utilizados en la deshidratación. (Escobar, 2002)

Sandoval señala que el acondicionamiento del lodo con polímero mejora la deshidratación del lodo, la calidad del sobrenadante, acorta el tiempo de sedimentación y aumenta la concentración del aluminio con respecto a la sedimentación natural. Mediante la conjunción de un acondicionamiento con polímero y una acidificación, se puede obtener una reducción del volumen del lodo de hasta un 97% y una recuperación del 93% del coagulante. (Sandoval, 2012)

En el ámbito nacional, Holguín concluye en su trabajo realizado en "ACUEDUCTOS LA ENEA Ltda.", "si se implementa el sistema de espesamiento y tratamiento de lodos puede separarse y reutilizarse 98 % del agua de lavado de los filtros y más del 50% del agua de lavado de los decantadores. La sedimentación de los lodos del decantador es muy rápida y se alcanza casi totalmente en 2 horas".³

³ HOLGUIN ISAZA, Carlos Andrés. Diseño de un espesador por gravedad y eras de secado para los lodos producidos en la Planta de Tratamiento de agua potable "ACUEDUCTOS LA ENEA Ltda." Manizales, 2003. Trabajo de Grado (Ingeniería Química) Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.. p.52.

Al respecto Gutiérrez y otros manifiestan:

En Colombia, la información publicada entorno a experiencias de reutilización y tratamiento de los lodos provenientes de PTAP es escasa. En tres PTAP de ciclo convencional de diferentes ciudades del país, se realiza el tratamiento de estos lodos donde prima el tratamiento físico por medio de la deshidratación, mientras que en el municipio de Caldas (Antioquia) se cuenta con una planta piloto para el tratamiento de lodos donde se espesan por medio de polímeros hasta su secado para posterior disposición. Así mismo, han sido pocas las publicaciones para la reutilización y tratamiento de los lodos provenientes de PTAP.⁴

En la planta de tratamiento de agua potable EMPOPAMPLONA S.A E.S.P se llevaron a cabo estudios durante el primer semestre del año 2016, sobre el manejo de los lodos producidos durante el proceso y evacuados por medio de un canal en un periodo de un mes generalmente, en caso de que las condiciones climáticas varíen presentando lluvias constantes, generando así mayor arrastre de sedimentos, se hace necesario realizar el lavado correspondiente a las unidades de operación en un tiempo mucho menor al habitual. Según lo ejecutado en el trabajo de grado por Castaño, para la deshidratación de los lodos “El método de lecho filtrante resulto ser el más viable debido a que este requiere condiciones asequibles desde diversos puntos de vista entre los que se puede mencionar la economía, el acondicionamiento con el terreno debido a la poca disponibilidad de espacio con que la empresa cuenta actualmente”, debido al nivel de contaminación que se presenta en el momento del vertimiento de los lodos en el cauce del río Pamplonita, es de gran importancia realizar diferentes pruebas con el fin de comparar el método anteriormente mencionado con respecto a los métodos mecánicos y así brindar una estimación eficaz de ambas alternativas para la deshidratación de estos residuos.⁵

5.2. MARCO CONTEXTUAL

Bajo la escritura pública N° 4-34 del 20 de diciembre de 1963, se creó la empresa EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P., con el nombre de Sociedad de Acueductos y Alcantarillado de Pamplona, a causa de la manifestación pública presentada en el

⁴ GUTIERREZ, J, et al. Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. En: Revista Ingenierías Universidad de Medellín. vol. 13, No. 25 (julio-diciembre de 2014); ISSN 1692 - 3324 /248 p. Medellín, Colombia

⁵ CASTAÑO, Jackeline. Propuesta para el manejo de lodos de las plantas de agua potable de EMPOPAMPLONA S.A E.S.P del municipio de Pamplona, Norte de Santander. Pamplona, 2016. Trabajo de Grado (Ingeniería Ambiental) Universidad de Pamplona. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

año de 1962 donde se exigió la disgregación de ACUANORTE S.A. el cual prestaba sus servicios en esos momentos.

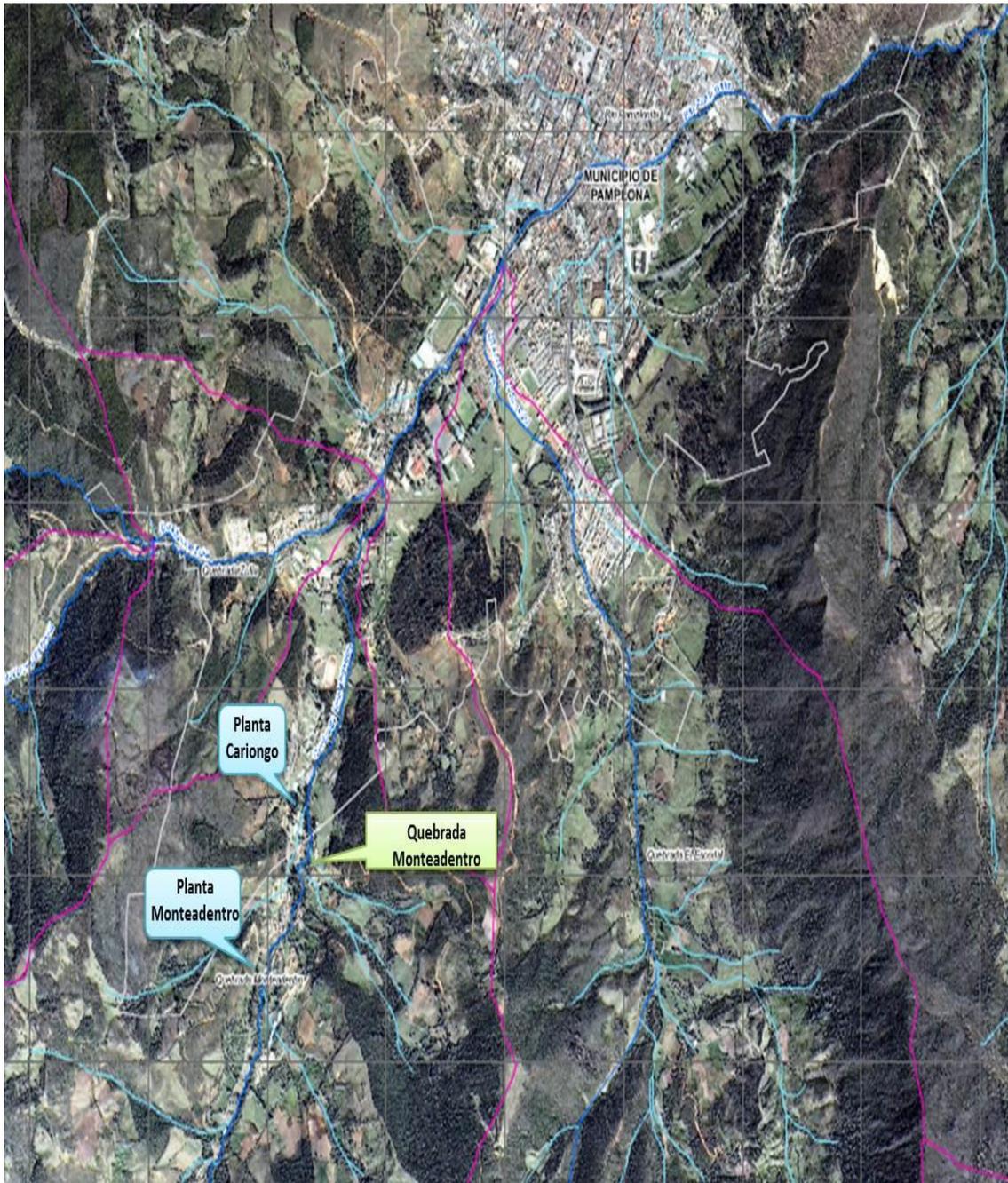
A partir del año 1977 pasó a ser Empresa de Obras Sanitarias de Pamplona S.A. seguido de esto el 11 de julio de 1994, se expidió la ley 142 de los Servicios Públicos y Domiciliarios donde se consagró la privacidad de la empresa, constituyéndose como EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P., además de la elección de la Junta Directiva por parte de la Asamblea General de Accionistas, nombrando un Gerente en cabeza de la junta antes mencionada.

EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. es una Empresa de Servicios Públicos, con la función de producir y comercializar agua potable y los servicios de Alcantarillado y Aseo. Para la prestación del servicio de acueducto cuenta con dos plantas de tratamiento.

La Planta Cariongo ubicada en el sector de Los Tanques con coordenadas 7° 21' 25.68" Norte y 72° 39' 33.15" Oeste y cuenta con una altura de 2421 metros sobre el nivel del mar, la cual fue construida hace aproximadamente 50 años abasteciendo con agua potable al 70% de la población perteneciente a las zonas céntricas del municipio.

El otro porcentaje aproximadamente el 30 % de población, se abastece de la Planta Monteadentro localizada en la zona rural, exactamente en la vereda Monteadentro con coordenadas 7° 20' 28.99" Norte y 72° 40' 39.99" Oeste, con una altura de 3023 metros sobre el nivel del mar, que surte el agua potable a los sectores periféricos del municipio, construida en el año 2003 y puesta en funcionamiento desde al año 2004.

Figura 1. Ubicación de las plantas de tratamiento de Agua potable Cariongo y



Monteadentro.

Fuente: Plano Base Mapa hidrográfico de la Micro cuencas Pamplonita y el Zulia, Gobernación Norte de Santander

5.3. MARCO TEÓRICO

Es notable el buen funcionamiento que emplea una planta potabilizadora a partir del agua cruda de cualquier vertiente, haciendo pasar esta misma por los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, generando agua potable, además de algunos residuos equivalentes de ese proceso; lo que comúnmente se denomina con el nombre de lodos, el cual es formado en algunas unidades operacionales de todo el proceso de potabilización del agua.

En la tabla 1 se describe el sistema de tratamiento de agua potable de la planta Cariongo, de acuerdo con la información suministrada por el prestador en la visita adelantada.

Tabla 1. Sistema de Potabilización Cariongo

Fuente de abastecimiento	Tipo	Caudal de diseño (l/s)	Caudal de operación (l/s)	Procesos	Químicos utilizados
Quebrada Cariongo	Convencional	200	90	Mezcla rápida y coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección	Coagulación: Polihidroxiclورو de Aluminio
Quebrada Rosal					Desinfectante utilizado: Cloro Gaseoso

Fuente: Empopamplona S.A. E.S.P – Visita de campo

En la tabla 2 se describe el sistema de tratamiento de agua potable del sistema Monteadentro, de acuerdo con la información suministrada por el prestador en la visita adelantada.

Tabla 2. Sistema de potabilización Monteadentro

Fuente de abastecimiento	Tipo	Caudal de diseño (l/s)	Caudal de operación (l/s)	Planta de potabilización	
				Procesos	Químicos utilizados
Quebrada Morronegro	Convencional	80	50	Mezcla rápida y coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección	Coagulación: Polihidroxiclورو de Aluminio
Quebrada Ucuques					Desinfectante utilizado: Cloro Gaseoso

Fuente: Empopamplona S.A. E.S.P – Visita de campo

El término original usado para describir todos los residuos de una planta de tratamiento fue lodos. De hecho, lodo es realmente el componente sólido o líquido de algunos tipos de corrientes residuales.

Según Ramírez en su publicación “En el tratamiento del agua destinada al consumo humano, las sustancias en suspensión y algunas otras disueltas en esta agua, junto con los residuos de los coagulantes y otros reactivos empleados en el tratamiento, son separadas quedando residuos de distinta naturaleza que, en un tratamiento convencional, pueden ser los siguientes:

- Residuos de la coagulación/floculación generados principalmente en los decantadores y en los filtros.
- Residuos de posibles procesos de ablandamiento.
- Residuos de la eliminación de hierro, manganeso y del empleo de permanganato potásico.
- Residuos de carbón activo (si se emplea carbón en polvo en el proceso de potabilización).

Todos estos residuos son retenidos en los decantadores y filtros. La variedad o diferentes características de los fangos dependen esencialmente de la calidad del agua bruta y del tratamiento aplicado. (Ramírez, 2008)

TABLA 3. Residuos principales de plantas de tratamiento de agua

Residuos sólidos/líquidos
Lodos de alúmina
Lodos de hierro
Lodos de polímeros
Lodos de ablandamiento
Agua gastada en retrolavado de filtro
Carbón activo gastado o rechazo de los sistemas de carbón
Residuos de filtración lentes en arena
Residuos de plantas de remoción de hierro y manganeso
Medios filtrantes gastados de filtros de precapa
<<Pellets>> de desendurecimiento
Residuos en fase líquida
Salmuera regenerante de intercambio iónico
Residuo regenerante de alúmina activada
Concentrados de sistemas de membranas
Agua de transporte de carbono granular activado
Residuos en fase gaseosa
Gases desprendidos del >>stripping>> de aire
Gases desprendidos del ozono

Fuente: Manual de suministros de aguas comunitaria

En el proceso de tratamiento del agua se añaden sales metálicas hidrolizadas o polímeros orgánicos sintéticos como ayudantes al proceso de coagulación de materiales suspendidos y disueltos contenidos en el agua. Además, colaboran con

la remoción de sedimentos depositados en los tanques de sedimentación creando las corrientes de residuos. De ahí el nombre de los residuos como lodos de aluminio, hierro o polímeros ya que se reconocen según el coagulante utilizado para su formación aunque la composición de dichos residuos sea en su mayoría agua. (García, 2002)

5.3.1. FORMACION DEL LODO

Durante el tratamiento del agua donde se reúnen todas las operaciones y procesos que se realizan para la producción de agua potable por medio de tecnologías de tratamiento convencional donde en algunas de estas operaciones se genera la formación del lodo.

5.3.1.1. COAGULACION – FLOCULACION

En esta etapa de la potabilización se incrementa la tendencia de las pequeñas partículas en una suspensión acuosa, de agregarse unas a otras y a las superficies, tales como los gránulos en un lecho filtrante. (García, 2002)

El proceso se constituye de acuerdo a los siguientes pasos

- Formación del coagulante.
- Desestabilización de la partícula.
- Interacción del material orgánico natural con el coagulante.

5.3.1.1.1. Dosificación del coagulante

Para efectuar el proceso de coagulación, en primer lugar se hace necesario medir ciertos parámetros fisicoquímicos como son la turbidez, pH, color, alcalinidad, temperatura, entre otros del caudal de entrada que en promedio la planta Cariongo maneja de 70 – 100 l/s, por la canaleta Parshall y así realizar el ensayo de jarras con el fin de determinar la dosis óptima del coagulante, donde se adiciona la sustancia química exacta, en este caso la planta utiliza Polihidroxiclورو de Aluminio (PAC) en solución (líquido), actuando como agente aislante de las partículas en suspensión produciendo un efecto significativo sobre el tipo y la cantidad de residuos generados por la planta. Posteriormente se genera la homogenización del coagulante y el agua en un tiempo corto debido al resalto hidráulico ubicado en la sección de la canaleta Parshall, siendo removidas las sustancias orgánicas e inorgánicas que no lograron sedimentarse rápidamente en el proceso de desarenación.

5.3.1.1.2. Floculación

Técnicamente la coagulación hace referencia a las reacciones resultantes por la agrupación de partículas en el agua, incluyendo el proceso de dosificación del coagulante. El proceso físico de que exista un contacto entre las partículas formadas es denominado Floculación.

El propósito de la floculación reside en la agitación que recibe el flujo de agua causando la aglomeración, formación y desestabilización de partículas (flocs); la característica principal de los microfloculos es su tamaño, este debe tener un peso mucho mayor al del agua y que consiga ser remocionado fácilmente por los procesos de sedimentación y filtración. La eficacia de esta parte del tratamiento del agua se debe en parte a los factores que en el influyen:

- **Gradiente de velocidad:** Debe ser directamente proporcional a la velocidad con la que se aglomeran las partículas; lo ideal es que no se presente rompimiento en los floculos, por lo tanto el gradiente debe tener un límite máximo establecido que no se debe exceder. Estos gradientes de velocidad causan un movimiento relativo de partículas arrastradas y este movimiento relativo, que es un flujo laminar, produce la floculación.
- **Tiempo de detención:** Por medio de ensayos de jarras se determina el tiempo de detención óptimo, el cual debe ser proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Cabe resaltar que entre más cámaras de floculación en serie hayan va a generar tiempos menores que conllevan a una eficiencia en el proceso.
- **Concentración y naturaleza de las partículas:** El tamaño inicial y la concentración de las partículas en el agua a tratar debe manejar una proporcionalidad con respecto a la velocidad con que se forman floculos.

Tipos De Floculadores

- **Floculadores mecánicos**

Siendo ellos giratorios (de eje horizontal o vertical) o reciprocantes. El agitador más usado es el de paletas las cuales deben contar con un gran tamaño y se debe manejar una velocidad de mezcla baja.

- **Floculadores hidráulicos**

Cámaras floculadoras ubicadas en serie que al momento del ingreso del agua se reduce la velocidad de agitación generando así la mezcla.

5.3.1.1.3. SEDIMENTACION

Además de mejorar el proceso de filtración ya que elimina las partículas suspendidas, es un proceso de separación sólido-líquido con el fin de bajar la concentración de sólidos, o carga, sobre filtros granulares.

Durante este proceso las partículas (flocs) formadas en la floculación se depositan al fondo del tanque sedimentador gracias al peso que estas poseen y de esta forma creando un barro. Por lo general se maneja una velocidad de retención en el agua de 40 minutos a una hora aproximadamente.

La estructura de los sedimentadores está capacitada para que el agua siga la trayectoria y luego ser captada la parte que contiene menor turbiedad, así las partículas removidas logra pasar a un deflector de efluentes de vertedero. El proceso más apropiado para una aplicación particular dependerá del agua a tratar así como de las circunstancias y exigencias locales.

5.3.1.1.4. FILTRACION

En el proceso de tratamiento del agua manejado comúnmente la filtración es la operación que continua justo después de la sedimentación. Las partículas en suspensión presentes en el agua son retenidas debido al paso que esta recorre por un medio poroso (arena y antracita) mediante gravedad, mientras que el flujo si atraviesa y sigue su curso hasta el tanque de agua tratada para recibir la desinfección.

En los filtros la eliminación de las partículas suspendidas en el agua es de un 99.5% aproximadamente, dando a entender así que es una de las operaciones con mayor eficiencia. Existen dos métodos que son los más usuales. (Cacua y Sampayo, 2008)

- **Filtración rápida:** Proceso de filtración a alta velocidad.
- **Filtración lenta:** Proceso de filtración a baja velocidad.

En total el flujo de lodos de una planta no debe ser mayor, en promedio del 5% del caudal total tratado, teniendo en cuenta la siguiente estimación: los sedimentadores producen entre el 2% y el 4% del caudal que se procesa y los filtros entre un 1% y el 2% del mismo. La concentración del lodo líquido debe permitir reducir su volumen del 3% al 25%.

5.3.2. EVACUACION DE LOS LODOS

5.3.2.1. **Evacuación periódica:** Se requiere que los sedimentadores dejen de trabajar en un periodo de tiempo de 15 días o ya sea por uno o varios meses, según indique la medida de turbiedad del agua cruda tomada durante este periodo, la dosis optima y tipo de coagulante utilizado, además del volumen muerto dejado en el tanque para el almacenamiento de los lodos.

5.3.2.2. **Evacuación continua:** Existen dos formas para realizar este tipo de evacuación, ya sea por la remoción mecánica o sifones de flujo intermitente y por remoción hidráulica.

- **Remoción mecánica:** Es aplicable para dos formas, como es el uso de equipos especializados para empujar el lodo por el fondo, de manera lenta hacia la respectiva salida, donde es extraído; la función la realiza el equipo dejándose la boca de salida quieta. Por otro lado se encuentran equipos que transportan las bocas de salida que van succionando el lodo a medida que va descendiendo; en este caso es notorio el movimiento de las bocas de salida mientras el lodo permanece quieto.
- **Remoción hidráulica:** Por método gravitacional el lodo se escurre hasta las bocas de salida las cuales permanecen quietas, generándose el movimiento del fango y así ser extraído.

5.3.3. TIPOS DE LODOS

Las plantas de tratamiento en su proceso operacional de potabilización generan un gran volumen de material residual conocidos comúnmente como lodos, compuestos en gran parte de agua y solidos entrantes como arcillas, compuestos no minerales y otros agregados durante el tratamiento como los hidróxidos de aluminio o hierro , dichos lodos que al sedimentarse son formados exactamente de los presedimentadores y sedimentadores de plantas de clarificación, los sedimentadores de las plantas de las plantas desferrizadoras, los reactores clarificadores de las plantas de ablandamiento y los sedimentadores de las unidades de tratamiento de agua en el Retrolavado.

El RAS 2000 indica que “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 embargo en las plantas que remueven hierro y manganeso los filtros retienen la mayoría de los lodos: 50% a 90%. Los polielectrolitos tienden a reducir el volumen de esos lodos.”⁶

⁶ REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000 SECCION II, TITULO C (2000). Colombia.

5.3.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS

El material contenido en el agua formando los lodos ya sea material como minerales y orgánicos, plancton, los hidróxidos metálicos como el hierro y el manganeso que provienen del coagulante utilizado para el tratamiento y por último el almidón contenido en el floculante, definen el tipo de lodo a tratar pero en si las características de los lodos varía de acuerdo a la calda del agua a tratar y de cual sea el tratamiento para potabilizar esta agua cruda.

La tabla mostrada a continuación enseña las características de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua potable de acuerdo a diferentes autores desde el año 1968 hasta el año 1998.

TABLA 4. Características de los lodos generados en las plantas de tratamiento de agua potable

AUTOR/AÑO	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	ST (mg/L)	SSV(mg/L)	SS(%SS)
NEUBAUER (1968)	30 a 150	500 a 15000	6.0 a 7.6	1100 a 16000	20% a 30%	
SUTHERLAND (1969)	100 a 232	669 a 1100	7	4300 a 14000	25%	80
BUGG (1970)	380	1162 a 15800	6.5 a 6.7	4380 a 14000	20%	
ALBRECHT (1972)	30 a 100	500 a 10000	5.0 a 7.0	3000 a 15000	20%	75
CULP (1974)	40 a 150	340 a 5000	7			
NILSEN (1974)	100	2300	6.5	10000	30%	
SINGER (1974)	30 a 300	30 a 5000	6.0 a 7.4			
CORDEIRO (1981)	320	5150	6.7 a 7.1	81575	20.70%	
VIDAL (1990)	449	3487	6.5	21972	15%	
VIDAL (1990)	173	1776	5.55	6300	73%	
CORDEIRO (1993)		5600	6.8	30275	26.30%	
PATRIZZE (1998)				6112	19%	
PATRIZZE (1998)				6281		

Fuente: Monografía Tratamiento y adecuada disposición de lodos domésticos e industriales, 2010.⁷

5.3.5. MANEJO Y TRANSPORTE DE LODOS

- Al ser lodos líquidos pueden bombearse a través de tuberías o transportados en camión.
- Si son lodos en forma de torta requieren de un transporte más grande, por ejemplo en camiones de mayor capacidad o barcos.

⁷ BUILES B., Sebastián. Tratamiento y adecuada disposición de lodos Domésticos e industriales. Pereira, 2010. Monografía (Tecnología Química). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. P.31

- Lodos con concentraciones diluidas de coagulantes se hace necesario el transporte por medio gravitacional o también se puede por medio de bombeo en centrifugas.
- Lodos con contenidos de cal o bien sean lodos espesos de aluminio (8% - 15%) se transportan por bombas de desplazamiento positivo. Si estos lodos de cal espesos sobrepasan porcentajes del 30% y sean lodos de coagulación que sobrepasen el 15% ya solicitan un transporte de bandas o tornillos transportadores.

5.3.6. DISPOSICION FINAL DEL LODO

Existen varias alternativas para las empresas potabilizadoras en cuanto a la disposición final que se le debe dar al lodo producido como son:

- Descarga a los cuerpos receptores
- Descarga al sistema de alcantarillado
- Disposición en un relleno sanitario
- Disposición en un terreno
- Recuperación en subproductos

5.3.7. TRATAMIENTO DE LOS LODOS

Según sea el lodo producido por la planta de potabilización y la concentración de sólido que este contenga debe ajustarse a un tratamiento conveniente que permita la reducción de su volumen al momento de su descarga al cauce. Este tratamiento no es complejo operando de una forma óptima garantizando una disposición final de los residuos, además de modificar la tasa retributiva que la empresa deba pagar por los vertimientos de cargas contaminantes a cuerpos de agua receptores como lo establece el Decreto 2667 del 21 de diciembre de 2012.

En la tabla 5 se muestra la guía para la selección del tratamiento de los lodos de acuerdo a los datos promedio del porcentaje de concentración de sólidos en diferentes tipos de lodos.

Tabla 5. Concentración de lodos en el tratamiento de aguas

TIPO DE LODO	CONCENTRACION DE SOLIDOS (%)
Proceso de sedimentación	0.5 – 2
Agua de lavado de filtros	50 – 1000
Proceso de ablandamiento con soda y cal	2 – 15
Espesado gravitacional	
Sedimentos de coagulación y lavado	2 - 20 (típico: 2 - 4)
Agua de lavado de filtros	Mayor a 4

Lodos de cal	15 – 30
Filtración al vacío	
Lodos de coagulación	10 – 20
Ablandamiento con cal (>85% de contenido de CaCo₃)	50 – 70
Ablandamiento con cal (alto contenido de Mg(OH)₂)	20 – 25
Filtración a presión	
Lodos de coagulación	30 – 45
lodos de cal	55 – 70
Centrifugas	
Lodos de coagulación	10 – 20
Lodos de cal y aluminio	15 – 40
Lodos de cal	30 – 70
Camas de secado	
Lodos de coagulación	15 – 30
lodos de cal	50 – 70
Lagunas	
Lodos de coagulación	7 – 15
Lodos de cal	50 – 60

Fuente: Ras – Sección II Título C, 2000.

5.3.7.1. Ecuallizador

La descarga de los lodos se realiza de forma intermitente que al momento de abrir las válvulas de desagüe no existe algún impedimento que los retenga y puedan ser evacuados al destino final según la disposición de la planta. De tal forma, al iniciar el tratamiento de los lodos el tanque ecualizador funciona como un depósito de lodos donde se envía todo el volumen descargado de este, almacenándolo, haciendo una homogenización la concentración de la mezcla ingresada y disponiendo de un volumen requerido para continuar con el tratamiento al que se someterá.

Para el funcionamiento ideal del tanque ecualizador se hace necesario controlar las concentraciones de lodos que luego serán conducidos al proceso de espesamiento ya que no pueden presentar variaciones que automáticamente afectaran el rendimiento de esta parte del tratamiento, mencionado esto es importante la neutralización previa que reciba el lodo proveniente de las purgas de sedimentadores y lavado de filtros. La capacidad de almacenamiento de estos tanques debe ser lo suficientemente precisa de tal forma que contenga un nivel de agua que sobrepase un valor determinado.

Hay dos tipos de tanques ecualizadores, los tanques de nivel constante o los de nivel variable; el tanque ecualizador de nivel constante se basa en la amortiguación que se presenta en el volumen del líquido contenido en el tanque haciendo que las agitaciones sean menores. En comparación del tanque ecualizador de nivel variable el cual maneja un flujo de entrada constante pero variando en el flujo de salida del tanque con respecto al tiempo

efectuado, ocasionando que los niveles del lodo dentro del tanque varíen de un mínimo a un máximo o viceversa.

5.3.7.2. Espesamiento

Después de su retirada al tanque de clasificación o sedimentación, los lodos pueden espesarse en un tanque o depósito de concentración por gravedad.

Este espesamiento puede ser económicamente atractivo para las plantas de tratamiento ya que su función primordial es reducir el volumen de lodos de aproximadamente un 30% - 80% antes de recibir cualquier otro tipo de tratamiento y producir un lodo más concentrado para su posterior manejo en un proceso de deshidratación, o en el caso de transportarlo a un lugar de aplicación final.

Los espesadores de lodos por gravedad son generalmente tanques circulares con un mecanismo de raspado en el fondo o equipados con tolvas de lodos, también se encuentran dotados de rasquetas que arrastran el fango precipitado hacia las arquetas de recogida. En los espesadores de flujo continuo, el lodo normalmente entra al espesador cerca del centro del tanque y se distribuye radialmente. La salida del agua sedimentada se hace mediante esclusas situadas en la periferia del espesador, o a través, el lodo espesado se extrae del tanque. En tanques de espesamiento por arrastre y de llenado por tandas suelen estar equipados a menudo con tolvas inferiores o de fondo. Aquí, el lodo fluye al tanque, bien de modo periódico o con remoción continua del lodo del tanque de sedimentación, hasta que el tanque espesador esté lleno.⁸

Aunque el mercado tiene poca disponibilidad de los diferentes tipos de espesadores, la industria del agua utiliza casi exclusivamente el espesado por gravedad.

5.3.7.3. Acondicionamiento

Después de todo el proceso de potabilización el residuo (lodos) formado a partir de esto necesita un tipo de acondicionamiento químico que genere una separación efectiva del sólido – líquido, de tal forma que se pueda dar un manejo apropiado y mejorar el posterior proceso de deshidratación. Generalmente este acondicionamiento se lleva a cabo por medio de la utilización de agentes polímeros deshidratadores o cloruro férrico e hidróxido

⁸ GARCIA, Antonio. Calidad y tratamiento del agua, manual de suministros de agua comunitaria. (A. García Brages, Ed.) (Quinta). España: McGraw Hill. 2002.

de calcio, ya que es un método eficiente para desestabilizar las cargas de las partículas sólidas presentes en el agua y que favorezca la agrupación de estas; asimismo aglomerar dichas partículas en flocs, por medio de mecanismos de adsorción y la correcta formación de puentes entre las partículas y el polímero usado.

En total el flujo de lodos de una planta no debe ser mayor, en promedio del 5% del caudal total tratado, teniendo en cuenta la siguiente estimación: los sedimentadores producen entre el 2 y el 4% del caudal que se procesa y los filtros entre el 1 y el 2% del mismo. La concentración del lodo líquido debe permitir reducir su volumen del 3 al 25%, como se observa en la tabla 6 basada en los datos del RAS 2000.

Tabla 6. Concentración de lodos sedimentados

TIPO	% VOLUMEN A REDUCIR
Lodos de sedimentación con coagulación de sulfato de Aluminio	3.0 – 8.0
Lodos de sedimentación con coagulación por Hierro	12 – 21
Lavado con coagulación por Aluminio y Cal	4.0 – 10
Lavado con coagulación por Hierro y Cal	5
Lavado con coagulación por Hierro solo	5.0 – 9.0
Lodos de ablandamiento	15 – 25

Fuente: Ras – Sección II Título C, 2000.

5.3.7.4. Deshidratación

La deshidratación de lodos es la llave del proceso del tratamiento de lodo y disposición debido a que el lodo generalmente se solidifica por la reducción de su contenido de agua dando como resultado que su disposición sea más fácil.

La deshidratación no mecánica implica la retirada del agua de los residuos de la planta de tratamiento a través de medios que no requieren la utilización de dispositivos mecánicos tales como centrifugas o filtros prensas.⁹ Puede darse de manera natural (mediante lechos secadores de arena, lechos de secado solares, lagunas de deshidratación o lechos deshidratadores por congelación) durante un largo periodo de tiempo pero presenta inconvenientes, tanto en espacio como medioambientales. Este método no mecánico se usa en lugares donde el terreno es abundante y donde a la vez el costo de su implementación es económico, el consumo de energía que requieren es bajo de igual forma los productos químicos utilizados para su manejo. En general las alternativas físicas de deshidratación

⁹ GARCIA, Antonio. Calidad y tratamiento del agua, manual de suministros de agua comunitaria. (A. García Brages, Ed.) (Quinta). España: McGraw Hill. 2002.

son empleadas para plantas pequeñas con buena disposición en cuanto a las condiciones topográficas, suelo disponible y restricciones de operación.

En el caso de la deshidratación mecánica de residuos sólidos – líquidos existen varios dispositivos que permiten deshidratar y remover el agua de las plantas de tratamiento de residuos. No obstante, solo se usan los métodos de centrifugación, filtros prensa de placa y “batch”, filtros prensa de diafragma, filtros prensa de banda transportadas y filtros de vacío.

5.3.7.4.1. Filtro de Vacío

Los filtros de vacío son usados únicamente con lodos de cal, sin embargo el resto de las tecnologías pueden usarse tanto con lodos de coagulante como con lodos de cal, en el caso de lodos de coagulación permite el secado de aproximadamente 20% de sólidos, el equipo filtrante en forma de un calderín cilíndrico horizontal gira parcialmente encontrándose sumergido en el lodo a deshidratar, dicha superficie es del 10 al 40 por 100 que contiene partes del lodo, formando la torta. Al aplicarse el vacío, se produce la filtración del agua dejando en los tejidos el remanente o torta. Siguiendo la parte de secado de la torta constituyendo el 40 al 60 por 100 de la superficie cilíndrica retirando la humedad presente por vacío. A través de una cinta del tejido filtrante se retira la torta del medio, pasando a la zona de descarga de la torta.

5.3.7.4.2. Filtro Prensa de cinta

A su vez los filtros prensa de cinta poseen un sistema mixto de drenaje por gravedad y la presión mecánica que se ejerce para deshidratar los lodos, resumiendo su proceso en el acondicionamiento químico estándar con polímeros, el <<slurry>> de lodo ingresa al drenaje por gravedad esparciéndose en una cinta móvil de material poroso, drenando la cantidad de agua posible y reteniendo el <<slurry>> que se separa en un tiempo aproximado de 1 o 2 minutos y por último el lodo ya deshidratado es incorporado a la deshidratación por comprensión, el cual se basa en dos cintas o tejidos por donde se desplaza el sólido en rodillos a un camino en forma de S que produce una fuerza de cizallado ayudando al proceso deshidratador generando una torta de lodo óptima que es retirada finalmente de las bandas.

5.3.7.4.3. Centrifugas

Las centrifugas radican en la sedimentación de sólidos actuando por la fuerza de gravedad acelerada. La centrifugación usada para lodos de plantas de potabilización consiste en un barril horizontal con un transportador helicoidal de tornillo incorporado donde se deposita el lodo y gira a gran velocidad arrastrando al lodo deshidratado que se adhiere a las paredes internas hacia el extremo final

del barril. El agua extraída sale por medio de unas esclusas que se ajustan para controlar la altura por el extremo opuesto.

5.3.7.4.4. Filtros Prensa

Como último método mecánico para secar lodos se habla del filtro prensa, destacándose por su eficiencia al obtenerse una alta concentración final de torta de lodos del 30% en cuanto a material seco. Su funcionamiento está establecido en unas placas de fundición por donde entra el lodo que gracias a la elevada presión que se ejerce va adecuándose en el tejido filtrante reteniendo el material formando una torta sólida y de esta manera dejar pasar el agua filtrada.

El proceso de centrifugación, cinta prensa y filtros de vacío son catalogados sistemas de baja presión, mientras los otros dos tipos de filtros prensa consiguen operar en altas presiones. Una de las ventajas de los filtros prensa es que pueden aceptar lodo con distinta capacidad de filtración.

La elección del mecanismo para deshidratar dependería de la concentración del lodo, así en el caso de los lodos de coagulantes permitirá decidir por los dispositivos de baja presión con respecto a los dispositivos de alta presión.¹⁰

5.4. MARCO LEGAL

- **Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto – Ley 2811 de 1974).**
- **Decreto 1715 de 1978.** Ministerio de Agricultura, por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto – Ley 2811 de 1974, la Ley 23 de 1973 y el Decreto – Ley 154 de 1976, en cuanto a protección de paisaje. Que según lo establecido por el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto – Ley 2811 de 1974), la comunidad tiene derecho a disfrutar de paisajes urbanos y rurales que contribuyan a su bienestar físico y espiritual. Que con el fin de garantizar este derecho es necesario establecer las regulaciones y tomar medidas para impedir la alteración o deformación de elementos constitutivos del paisaje.
- **Ley 09 de 1979.** Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. Control y prevención de las aguas para consumo humano (Art. 51), aguas superficiales (Art. 55) y potabilización de agua (Art. 59).

¹⁰ GARCIA, Antonio. Calidad y tratamiento del agua, manual de suministros de agua comunitaria. (A. García Brages, Ed.) (Quinta). España: McGraw Hill. 2002.

- **Decreto 2105 de 1983.** Reglamenta parcialmente el título II de la ley 09 de 1979 sobre potabilización y suministro de agua para consumo humano.
- **Decreto 1594 de 1984.** Normas de vertimientos de residuos líquidos (Art. 60 al 71), donde específicamente el Artículo 62. Se prohíbe la utilización de aguas del recurso del acueducto público o privado y las del almacenamiento de aguas lluvias, con el propósito de diluir los vertimientos, con anterioridad a la descarga al cuerpo receptor. Artículo 67. Para el control del cumplimiento de las normas de vertimiento por parte de cada usuario, se deberá tener en cuenta que cuando la captación y la descarga se realicen en un mismo cuerpo de agua, en las mediciones se descontaran las cargas de los contaminantes existentes en el punto de captación. Artículo 70. Los sedimentos, lodos y sustancias solidas provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de control de contaminación ambiental, y otras tales como cenizas, cachaza y bagazo, no podrán disponerse en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, estuarinas o sistema de alcantarillado, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos.
- **Decreto 1700 de 1989.** Por el cual se crea la Comisión Nacional de Agua Potable y Saneamiento Básico. Considerando que el Gobierno Nacional ha formulado el Plan de Ajuste del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (PAD), orientado a elevar la cobertura y calidad de los servicios de Acueducto y Alcantarillado en el país, y a fortalecer el nuevo marco institucional dispuesto por las normas de descentralización.
- **Resolución 1096 de 2000.** Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000, considerando en su Artículo 119. Los requisitos mínimos para el tratamiento y manejo de los lodos producidos en los procesos de sedimentación, y filtración producto de la operación de las plantas de tratamiento, son aplicables a los cuatro niveles de complejidad del sistema. La descarga de los lodos debe sujetarse a las siguientes especificaciones:

Para devolverlos directamente a la corriente de agua o descargarlos en alcantarillados, previo tratamiento, debe adquirirse un permiso de las autoridades competentes y debe realizarse estudios de impacto ambiental en el que se demuestre que no contravienen los artículos 72 y 73 del Decreto 1594 del 26 de junio de 1984 expedido por el Ministerio de Salud – Normas sobre vertimiento a cuerpos de agua o alcantarillados públicos y el Decreto 302 de 2000 expedido por el Ministerio de Desarrollo Económico.

Si no es posible lo anterior, se deben llevar a lagunas de almacenamiento en donde se decanten y por extrafiltración y evaporación se elimine el agua de

arrastré hasta dejar el lodo semisolidificado. De allí deben extraerse por sistema mecánico y transportarlo al punto de disposición final.

Concentrar el lodo en concentradores, extraer dicho lodo y llevarlo a lagunas de secado en donde debe ser solidificado para luego transportarlo y depositarlo en el sitio que se acuerde.

Secar el lodo por sistemas mecánicos: filtros prensa, centrifugado, filtros al vacío, o camas de secado, extraer la pasta de secado que se produce en ellos y transportarla hasta el lugar de almacenamiento.

La descarga final del agua lixiviada, si se hace a un cuerpo de agua, debe cumplir con las normas de vertimiento que trata el artículo 72 del Decreto 1594 del 26 de junio de 1984 del Ministerio de Salud.

- **Decreto 3930 del 2010.** Ejercer control sobre los vertimientos que se introduzcan en las aguas superficiales o subterráneas, interiores o marinas, a fin de que estas no se conviertan en focos de contaminación que pongan en riesgo los ciclos biológicos, el normal desarrollo de las especies y la capacidad oxigenante y reguladora de los cuerpos de agua.
- **Según el RAS título C.** Para el manejo de lodos en el apartado C 13.3 se debe tener en cuenta estudios previos a cerca del lodo producido en la planta, determinar la concentración al peso de los lodos y peso específico de los lodos; Los métodos de evacuación deben ser periódicos o continuos. De igual forma su disposición final.
- **Decreto 1575 de 2007.** Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para consumo Humano. Como se decreta en el (Art. 8) concerniente a la responsabilidad de las direcciones departamentales, distritales y municipales de salud.
- **Resolución 082 de 2009.** Por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano. En el Anexo Técnico N°1. Título III donde se hace el cálculo del índice de riesgo por abastecimiento de agua para consumo humano por parte de la persona prestadora, evaluándose el proceso para el tratamiento de los lodos generados en el proceso de potabilización.
- **Decreto 2667 del 2012.** Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales; a mayor carga contaminante mayor será la tasa retributiva a pagar por la empresa prestadora de servicios públicos.

- **Resolución 1514 del 2012.** Por la cual se adoptan los Términos de Referencia para la Elaboración del Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos, según lo establecido en el anexo 1 numeral 4.2.2.2. el reglamento de caracterización del cuerpo de agua receptor con base en los resultados de los monitores físico – químicos, hidrobiológicos y bacteriológicos realizados para la evaluación ambiental del vertimiento.
- **Decreto 2981 del 2013.** Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo.

6. METODOLOGÍA

Se realizaron las siguientes actividades para el cumplimiento de los objetivos específicos.

6.1. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE PURGA DE LOS SEDIMENTADORES 1 Y 2 DE LA PLANTA MONTEADENTRO.

La purga de ambos sedimentadores cuenta con un tiempo de duración de 2 minutos donde son evacuados los lodos.

El primer muestreo que se ejecuto fue el día 18 de octubre donde se tomaron 4 muestras puntuales cada 30 segundos según el tiempo establecido de operación de 2 minutos de purga para cada sedimentador, el siguiente muestreo se llevó a cabo el día 21 de noviembre tomando 4 muestras puntuales con el mismo tiempo utilizado para el primer muestreo y por último se realizó el ultimo muestreo el 29 de noviembre llevándose a cabo el mismo procedimiento de las anteriores toma de muestras.

6.2. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE LAVADO DE SEDIMENTADORES 1 Y 2 DE LA PLANTA CARIONGO Y MONTEADENTRO.

6.2.1. Vaciado de la unidad de sedimentación Cariongo.

Se desocupó totalmente el tanque y con la ayuda de mangueras a presión de forma manual es retirado en absoluto el lodo que queda adherido en las paredes, canales y placas, de tal forma que se vacíe toda la unidad y quede limpio para volver a llenar al abrir las válvulas nuevamente y continúe el proceso de sedimentación.

Los días 3 y 30 de noviembre se llevaron a cabo los lavados de ambos sedimentadores, donde se tomaron muestras compuestas del lodo que se descarga directamente al cauce en timbos de 128 litros, el tiempo empleado para este proceso es de 2 horas aproximadamente desde que el operario abre las válvulas de compuerta para permitir el paso del agua hacia la tubería de desagüe conectándose con el canal que descarga al rio, pero el momento exacto de la toma del lodo es cuando ya lleva una hora de evacuado, teniéndose en cuenta que al comienzo la descarga es solo agua que se encontraba almacenada en el tanque sedimentador.

6.2.2. Vaciado de la unidad de sedimentación Monteadentro.

El proceso de lavado de esta unidad es similar al que se realiza en la planta Cariongo aunque su desagüe a una cámara de recolección ubicada dentro de la misma planta que conecta al cauce por medio de tuberías. En este caso la toma de muestras fue directamente en esta Cámara.

Durante el lavado general de la planta realizados los días 1 y 29 de noviembre, se realizó la toma de muestras compuestas del lavado de los sedimentadores 1 y 2 en el momento en que estaba finalizando la descarga, la evacuación de estos residuos se da en un tiempo de 2 horas aproximadamente desde que se abren las válvulas y empieza a salir el agua sobrenadante hasta que es evacuado totalmente el lodo sedimentado.

Cada muestra se depositó en timbos debidamente vacíos de 128 litros, seguidamente fueron almacenadas.

6.3. METODOLOGIA EMPLEADA PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE LAVADO DE LOS FILTROS 1 Y 2 DE LA PLANTA CARIONGO.

Es notable que el proceso de filtración produce menor cantidad de lodos en comparación de los sedimentadores, siendo estos lodos menos concentrados. Al haber solo dos filtros en la planta Cariongo, se decidió tomar muestras puntuales de cada uno de ellos durante su proceso de lavado.

El tiempo de lavado del filtro es relativamente corto, siendo de 8 a 13 minutos aproximadamente dependiendo de cuanto se abran las compuertas para evacuar el agua.

Teniendo en cuenta que el lavado de los filtros se divide en dos etapas, la etapa inicial es el vaciado del filtro y la siguiente es el retrolavado con agua.

6.3.1. Muestreo vaciado del filtro

De esta forma se tomó una muestra puntual de 1,5 litros del agua de vaciado del filtro N°1 en un tiempo de 1 minuto el día 8 de octubre, nuevamente el día 9 de noviembre se tomó una muestra puntual de 1.5 litros con el mismo tiempo establecido de 1 minuto y por último se tomaron 2 muestras puntuales de 1.5 litros para el filtro N° 2 en 1 minuto en los días 20 de octubre y 24 de noviembre respectivamente.

6.3.2. Muestreo retrolavado del filtro

Al momento en que la lámina de agua llega a la medida de 30 cm del lecho se da inicio al retrolavado, donde empieza a ascender el lodo desbordando a las canales y se prosiguió a la toma de 10 muestras puntuales cada minuto hasta completar los 13 minutos que demora el lavado total del filtro.

Las muestras puntuales fueron tomadas en las mismas fechas en que se tomaron las muestras de vaciado, ya que el proceso de retrolavado sigue inmediatamente después de vaciar el filtro, de igual forma se tomó la cantidad de 1.5 litros por cada muestra.

6.4. CUANTIFICACION DE LOS LODOS

Durante el desarrollo del proyecto se tomaron muestras de los lodos evacuados al Cauce de la quebrada Cariongo que transporta estos residuos aguas abajo uniéndose al Rio Pamplonita de las plantas Cariongo y Monte dentro con las cuales se dio paso a la medición de los caudales y volúmenes generados en las descargas de lodo en las actividades de purga, lavado de filtros y lavado de sedimentadores, teniendo en cuenta las mediciones del caudal de salida de los sedimentadores y las dimensiones de las secciones generadoras de lodos.

6.5. CARACTERIZACION DE LOS LODOS

Se realizaron pruebas a nivel de laboratorio para la determinación de los parámetros fijados como fueron Solidos Sedimentables (SS), Solidos Totales (ST), turbiedad, pH, a todas y cada una de las muestras puntuales y compuestas a intervalos de tiempo previamente establecidos, recogidas durante los lavados de Sedimentadores, lavado de filtros y purga de sedimentadores. Adicionalmente determinación del contenido de Aluminio, Concentración al peso de los lodos, y peso específico de muestras compuestas.

Todas estas muestras fueron previamente analizadas según lo establecidos Standard Methods (SD) en el Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad de Pamplona.

6.5.1. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ALUMINIO

Las muestras tomadas fueron llevadas al Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad de Pamplona para la determinación del contenido de aluminio presente en ellas.

El procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente:

1. Se definió realizar la prueba de aluminio en las muestras de lavado de cada uno de los sedimentadores de las plantas Cariongo y Monteadentro, ya que son los causantes del mayor volumen de lodo que se descarga a la fuente de agua.
2. A cada muestra se le hizo una doble dilución de 10 ml de muestra en 100 ml de agua destilada debido a la turbiedad de los lodos, obteniendo 4 muestras en total.
3. De esta dilución se tomaron 5 ml de cada una de las muestras pipeteandolas en tubos de ensayo.
4. Se utilizaron los reactivos Al – 1, Al – 2 y Al – 3 (Ver figura 2). Del reactivo Al – 1 se le añadió a la muestra una microcucharada y se agitó vigorosamente hasta que el reactivo se disolvió completamente. Seguidamente se le añadió con una pipeta la cantidad de 1.2 ml del reactivo Al – 2 y por último se le agrego con otra pipeta la cantidad de 0.25 ml del reactivo Al – 3, los tubos de ensayo se agitaron produciendo una mezcla homogénea para su eventual lectura, produciéndose una tinción color amarillo – naranja propia de la presencia de aluminio.
5. Se dejaron reposar las muestras por 2 minutos (tiempo de reacción), a partir de ahí se introdujeron al espectrofotómetro, el cual se calibró con una muestra en blanco, en este caso agua destilada.

Figura 2. Reactivos para determinación de Aluminio



Fuente: Autor

6.6. ACONDICIONAMIENTO DE LODOS

Realización de ensayos con distintos polímeros previamente seleccionados, mediante la realización de ensayos de jarras para determinar dosis óptimas y producto más eficiente.

6.6.1. PRUEBAS DE SELECCIÓN DEL POLIMERO INDICADO

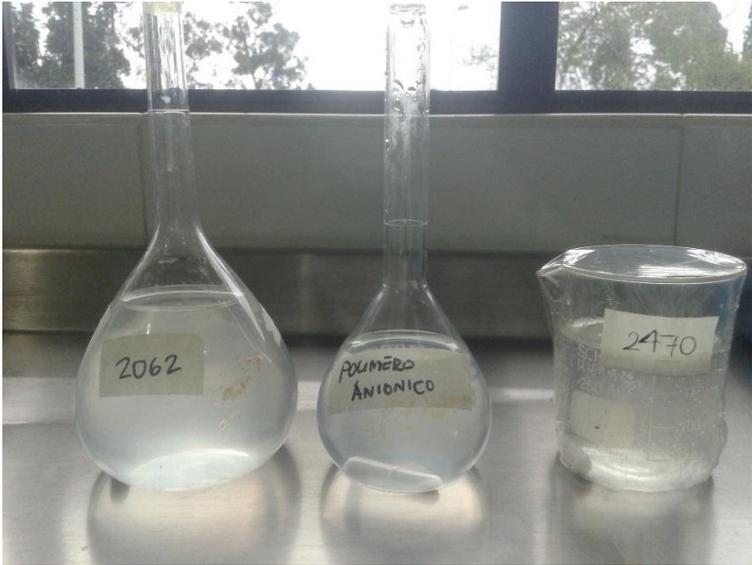
Debido al estudio bibliográfico que se realizó se tuvieron en cuenta las indicaciones para la selección de los polímeros que cumplieran con lo requerido para acondicionar los lodos.

El procedimiento empleado fue el siguiente:

1. Se adquirieron tres tipos de polímeros sintéticos, dos de estos catiónicos de alta carga y uno aniónico de alta carga. (Ver figura 3).
2. Se tomó la cantidad de 2.5 gr de cada polímero diluyéndolo al 1% con agua destilada en matraces de 250 ml.
3. Se ejecutaron ensayos de jarras a los lodos en vasos de 1000 cm^3 y se le añadieron diferentes dosis del mismo polímero con concentraciones de 5, 10, 15, 20, 40, 50, 100 y 200 ppm; con tiempos de agitación rápida de 1 minuto y agitación lenta de 15 minutos para homogenizar las muestras. Transcurrido el tiempo total de agitación, se dejó decantar el lodo en un tiempo de 1 hora.
4. Se realizó un ensayo de jarras para un vaso de 1000 cm^3 con lodo sin polímero, con los mismos tiempos de agitación mencionados anteriormente, dejándolo decantar de igual forma por 1 hora para luego comparar con los resultados.
5. Al haber pasado el tiempo de decantación, se dispuso a filtrar las muestras obtenidas con las dosis polímero y la muestra sin polímero, tomando el tiempo de filtrado del agua clarificada.

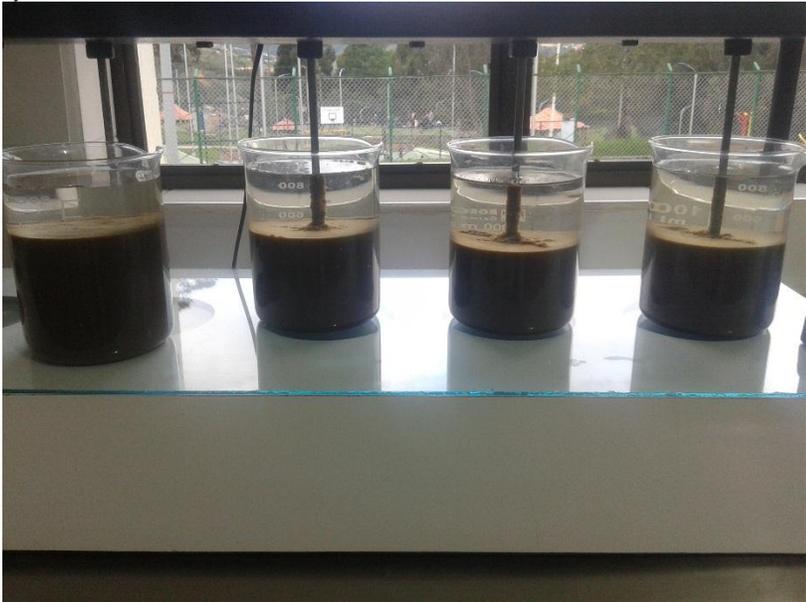
Todo este proceso se llevó a cabo en el laboratorio de Control de Calidad de la Planta EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. y así obtener una serie de resultados con los cuales determinar el polímero adecuado para el tipo de lodos producido en la planta.

Figura 3. Polímeros acondicionamiento de lodos.



Fuente. Autor

Figura 4. Ensayo de jarras con los lodos



Fuente: Autor

Figura 5. Ensayo de jarras con los lodos



Fuente: Autor

6.7. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Se estudiaron las diferentes alternativas mecánicas a nivel conceptual para la deshidratación de los lodos que permita aumentar la velocidad de deshidratación y la compactación de los mismos a fin de encontrar una opción viable.

6.8. DISEÑO

Realizar la propuesta y diseño preliminar de un sistema que permita realizar un manejo adecuado de los lodos en las plantas de tratamiento y que pueda ser implementado por la Empresa.

7. ANALISIS DE RESULTADOS

7.1. DESCRIPCION DE LAS UNIDADES GENERADORAS DE LODOS DE LAS PLANTAS DE AGUA POTABLE EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P.

Figura 6. Ubicación de las plantas de tratamiento de Agua potable y punto de descarga Cariongo y Monteadentro



Fuente: Plano Base Mapa hidrográfico de la Micro cuencas Pamplonita y el Zulia, Gobernación Norte de Santander

7.1.1. UNIDAD DE SEDIMENTACION PLANTA CARIONGO

Luego del paso de agua por el canal de aducción, cuyas dimensiones son 50 centímetros de largo por 50 centímetros de ancho y 92.8 metros de longitud, llega al tanque del Desarenador donde el agua choca con las pantallas deflectoras ingresando a la estructura, quedando retenidas las partículas sólidas de mayor tamaño..

Este Desarenador cuenta con unas dimensiones de 12.8 metros de largo por 3.45 metros de ancho y 1.9 metros de profundidad, resultando así un volumen total de 83.904 metros cúbicos, además posee una pendiente del 11%, presentando una zona de sedimentación con un volumen de 73.743 metros cúbicos.

El caudal sigue su transcurso dirigiéndose a una cámara de empalme con dimensiones de 2.5 metros de largo por 2.5 metros de ancho y 3.2 metros de profundidad, equivalente a un volumen de 20 metros cúbicos, uniéndose con el caudal entrante captado en la Quebrada El Rosal, sirviendo como un vertedero de excesos.

Inmediatamente el caudal entrante al canal circula a la canaleta Parshall que cuenta con una garganta de 9" (pulgadas) para ser aforado, y es justamente en esta etapa donde se adiciona el coagulante utilizado por la planta Polihidroxiclورو de Aluminio (PAC) dando paso al proceso de coagulación, consecutivamente este flujo pasa a las cámaras de floculación hidráulica comprendidas por dos secciones, en la cual la primera sección posee 6 compartimientos cada uno con diferentes dimensiones las cuales ocupan un volumen total de 91.167 metros cúbicos que funcionan en serie con un tiempo total de retención de 25 minutos en promedio (para 60 litros por segundo de capacidad) y la segunda sección compuesta por 10 compartimientos con un volumen total de 87.94 metros cúbicos que de igual forma funcionan en serie con un tiempo total de retención de 24.42 minutos en promedio con igual capacidad de caudal entrante; el paso del flujo por estas cámaras es de forma vertical a través de un orificio rectangular que se dispone a los tabiques divisores, todo esto es fundamental para la disminución de la velocidad del caudal y de esta manera se logre la formación de flocs con gran peso que puedan ser eliminados por medio del proceso de decantación o sedimentación.

En ambas secciones se cuenta con tres (3) válvulas de pie de compuerta ascendente que son el desagüe de los tanques al canal de lodos. En el momento del lavado de los tanques de floculación se cierra una (1) válvula para impedir el paso del agua y progresivamente se abren las otras dos (2) válvulas para permitir la descarga directa al canal de lodos.

A continuación el agua es conducida a los sedimentadores por medio de unos canales, este sistema de sedimentación se compone de dos (2) unidades.

La primera unidad es un tanque con dimensiones de 21.7 metros de largo por 7.06 metros de ancho, por 3.60 metros de profundidad, equivalente a un volumen de 551.6 metros cúbicos funcionando con un tiempo de retención de 2 horas y 33 minutos para un caudal de 60 litros por segundo de capacidad.

La segunda unidad igualmente es un tanque con dimensiones de 22.3 metros de largo, por 7,06 metros de ancho y 3,6 metros de profundidad resultando un volumen de 562,45 metros cúbicos, trabajando con un tiempo de retención de 2 horas y 36 minutos con el mismo caudal entrante al sedimentador uno (1).

Cada sedimentador dispone de láminas de Eternit actuando como placas, que se encuentran ubicadas en la parte de arriba de los tanques para una sedimentación acelerada con una separación de 7 cm de distancia entre ellas y con una inclinación de 60° (grados), por donde pasa el agua con un recorrido ascendente siendo recogida en las canaletas colectoras y es conducida hacia el canal de agua sedimentada, reteniéndose en estas laminas el lodo que va decantándose por gravedad en el fondo del tanque formando el manto de lodos.

Se dispone de tres (3) canaletas colectoras de agua sedimentada o clarificada para cada tanque ubicadas a lo largo del sedimentador funcionando por medio de un sistema de rebose y son conducidas hasta los tanques de filtración.

La evacuación de los lodos se lleva a cabo por un canal de desagüe estructurado como un sistema mixto de tubería de 12" (pulgadas) hasta un pozo que conecta al canal de concreto que vierte esos lodos al cauce.

La unidad de filtración es la etapa siguiente ubicada entre los sedimentadores y el tanque de almacenamiento de agua procesada, constituido por dos (2) baterías de filtros de igual dimensionamiento tales como 3.40 metros de ancho, por 6.7 metros de largo y 3.2 metros de profundidad, ocupando así un volumen de 87.94 metros cúbicos en total. El agua ingresa y el objetivo que se cumple en esta sección es retener los sólidos que no lograron decantarse durante la sedimentación y que pasaron con el flujo de agua, aquí gracias al proceso que se realiza en los filtros son expulsados estos lodos en el retrolavado.

Posee un lecho filtrante conformado por ocho (8) capas, una superior de 0.45 metros de antracita, siguiéndole una capa de arena 0.25 metros, ubicadas sobre una capa de arena torpedo de 0.06 metros y finalmente siguen 5 capas de grava de 0.47 metros, dando una altura total del lecho filtrante igual a 1.23 metros.

El agua filtrada que pasa por el lecho filtrante es drenada por el falso fondo, el cual está compuesto por las viguetas en forma triangular con sus respectivos orificios para el paso del agua.

En cada filtro hay una cámara de salida del agua filtrada, dotada de un vertedero rectangular por donde circula el agua que va hacia la cámara de recolección de agua filtrada.

En este caso el caudal se mide por la altura de la lámina de agua en el vertedero, teniendo en cuenta el flujo entrante al proceso de filtración y las pérdidas que puedan presentarse, pero no se hace aforo al caudal como tal en el propio vertedero.

Los filtros se encuentran separados en dos (2) compartimientos por el canal central, al cual le llegan seis (6) canaletas recolectoras de agua de lavado, siendo tres (3) canaletas por cada lado del canal.

Para el vaciado total de los filtros se encuentra una válvula de 12" (pulgadas) que va desde el canal de desagüe.

Por último, se identifica la cámara de recolección de agua filtrada la cual recibe el agua de los filtros por medio de una tubería de hierro fundido HF de 12" (pulgadas) para dar paso al proceso de desinfección. Anexos 2 y 3.

7.1.2. UNIDAD DE SEDIMENTACION PLANTA MONTEADENTRO

La planta de tratamiento Monteadentro de tipo integral que en su proceso de potabilización también se presenta la formación de lodos en algunas de sus unidades.

Al ingresar el agua a esta planta es transportada por medio de tuberías a la cámara de regulación o de entrada que tiene unas medidas de 2 metros de largo, por 1.8 metros de ancho y 9 metros de profundidad con un volumen equivalente a 32.4 metros cúbicos, que recibe el flujo desde la parte inferior y de esta forma salir por la parte superior del compartimiento con una altura de nueve (9) metros por una tubería de 10" (pulgadas) dirigido a un canal rectangular de concreto donde se mide la altura de la lámina de agua por medio electrónico determinando así el caudal de entrada e inmediatamente se genera un resalto hidráulico acelerando el flujo de agua y de esta manera adicionar el coagulante utilizado Polihidroxiclورو de Aluminio (PAC) de igual forma como en la planta Cariongo diferenciándose en la dosis optima aplicada.

De esta forma el agua pasa al proceso de floculación compuesto por seis (6) cámaras en serie tipo vertical con las mismas dimensiones de 3.1 metros de largo, por 3.1 metros de ancho y 9 metros de profundidad equivalente a un volumen de 18.74 metros cúbicos, y un volumen total de toda la sección de floculación de 112.44 metros cúbicos, con un tiempo de retención de 2.5 a 3.10 minutos para un caudal de 80 litros por segundo de capacidad, dependiendo el caudal que entra a la planta de acuerdo a las épocas de invierno o verano.

Al haberse formado los flocs, la sexta cámara de floculación reparte el agua a las cámaras de entrada a los sedimentadores que tienen una dimensiones de 6 metros de largo por 0.77 metros de ancho y 2.45 metros de profundidad equivalentes a un volumen total de 11.319 metros cúbicos, seguidamente el flujo de agua se hacia los tanques de sedimentación con flujo ascendente compuesto por dos (2) unidades situados simétricamente que poseen unas medidas de 6 metros de largo por 4.03 metros de ancho y 2.45 metros de profundidad para ambos compartimientos, generando un volumen total de sedimentación igual a 118.48 metros cúbicos, las partículas decantan por gravedad formando el manto de lodos en las tolvas para ser evacuados por medio de las válvulas tipo mariposa de 6" (pulgadas).

Ambos sedimentadores cuentan con 840 láminas onduladas en PVC con medidas de 0.9 metros de ancho y 1.20 metros de profundidad con ángulo de inclinación de 60° (grados), haciendo paso el agua clarificada a las canaletas de recolección, quedando retenidas en las placas los microflocs y a su vez los flocs que tienen gran peso decantan en los sedimentadores de pirámide invertida con medidas de 6 metros de largo por 4.03 metros de ancho y 2.5 metros de profundidad cada uno, resultando un volumen de 42 metros cúbicos en total para ambas tolvas.

Hay disposición de 12 canaletas de recolección de agua clarificada (6 por cada sedimentador) que funcionan con sistema de rebose, estas canaletas transportan el agua a un canal central que conduce hacia las unidades de filtración.

Por último la unidad de sedimentación está comprendida por el proceso de filtración, constituido por cuatro (4) unidades de filtros rápidos sellados herméticamente con flujo descendente y con las mismas dimensiones tales como 2.55 metros de largo por 2.6 metros de ancho y 2.1 metros de profundidad que corresponde a un volumen de 13.92 metros cúbicos para cada unidad y un volumen de 27.85 metros cúbicos en total para toda la sección.

Hay disponibilidad de un lecho filtrante establecido por siete (7) capas comenzando con un revestimiento de antracita de 0.45 metros, continuando con arena de 0.25 metros y por ultimo las 5 capas de grava.

Al haber atravesado el lecho el flujo de agua llega al falso fondo que en este caso son tuberías de 6" (pulgadas) en forma de O perforadas con orificios de aproximadamente 1/8" (pulgadas). De la tubería de falso fondo sale el agua en sentido ascendente dirigiéndose al tanque de almacenamiento de agua filtrada que consta de cuatro (4) unidades de 4.56 metros de largo por 3 metros de ancho y 1.4 metros de profundidad, correspondientes a un volumen de 19.15 metros cúbicos por cada sección y un volumen total de 76.61 metros cúbicos para toda el tanque; dicho flujo desciende nuevamente encausándose a la cámara de desinfección.

El retrolavado de los filtros se lleva a cabo automáticamente por un sistema de sifón invertido con un tiempo de lavado de siete (7) minutos utilizando 15 metros cúbicos de agua clarificada.

El diseño de la planta Monte dentro cuenta con tuberías mixtas de 6" (pulgadas) en PVC y metal de alta presión, funcionando como difusores y colectores los cuales reemplazan las canales y canaletas como es el caso de la planta Cariongo.

En general las unidades de sedimentación de las plantas Cariongo y Monte dentro funcionan correctamente llevando a cabo los procesos estipulados para el tratamiento del agua cruda, pero al momento de la potabilización los lodos generados en cada una de estas secciones mencionadas y explicadas anteriormente, son vertidos a la quebrada Cariongo que aguas abajo se une al río Pamplonita sin recibir ningún tipo de tratamiento conforme lo estipula el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 en la sección 2, título C, dando motivos a la planta EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. a buscar una solución a la problemática acarreada por la evacuación de lodos a una fuente hídrica y con la cual este proyecto.

7.2. CUANTIFICACION DE LODOS EN LAS PLANTAS CARIONGO Y MONTEADENTRO

Para la cuantificación de los lodos generados en las diferentes unidades de sedimentación descritas en el primer inciso de los análisis de resultados, se examinaron las correspondientes muestras de 3 purgas y 2 lavado de los sedimentadores 1 y 2 de la planta Monte dentro, 4 lavados de filtros (vaciado y retrolavado) y 2 lavados de sedimentadores en la planta Cariongo.

TABLA 7. Caudales, tiempos y volúmenes de lodos en la unidad de sedimentación planta Cariongo

FUENTE		CAUDAL PROMEDIO DE ENTRADA (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO DE VACIADO (m3/s)	CAUDAL PROMEDIO DE SALIDA (m3/s)	TIEMPO (s)	VOLUMEN (m3)	
LAVADO DE FILTROS	RETROLAVADO	0.12	0.12	800	96	
LAVADO SEDIMENTADORES	SEDIMENTADOR 1	0.235	0.235	2358	551.6	1504
	SEDIMENTADOR 2	.....	0.21	0.21	2760	562.45
	SEDIMENTADOR 1	.....	.....	0.0411	3600	148.1
	SEDIMENTADOR 2	.....	.....	0.0423	3600	152.3
	AGUA MANGUERA	0.025	.....	0.025	3600	90

Fuente: Autor

La tabla 7 descrita anteriormente especifica los caudales de entrada, vaciado y salida del lavado y purga de sedimentadores además del lavado de filtro con cada uno de los tiempos empleados durante estos procesos.

El lavado de los filtros precisamente el momento del retrolavado se lleva a cabo en un tiempo medido de 800 segundos y teniendo en cuenta que este tanque tiene una capacidad de 96 m³ que al ser multiplicado por el número de veces que se lavan los filtros en la planta igual a 18 veces al mes aproximadamente proporcionando así un volumen total de lodos por filtros equivalente a 1728 m³. Se tuvo en cuenta el caudal de lodo saliente que es de 0.12 m³/s, cabe resaltar que el caudal de agua entrante al proceso es de 0.12 m³/s convirtiéndose toda en fango por el contenido de sólido presente en ella, todo esto sin contar las pérdidas durante el proceso.

Para la respectiva medición de la cantidad de lodo producido por los sedimentadores 1 y 2 de la planta Cariongo se muestran los caudales producidos por el vaciado de cada sedimentador hallado en las tablas 10 Y 12 explicadas debajo, se evidencia también los caudales generados por la evacuación y limpieza de la columna de lodo que queda en los tanques con ayuda de la manguera a presión donde se emplea un tiempo de 3600 segundos, resultando así un volumen de 1504 m³ en total para el lavado de los sedimentadores.

TABLA 8. Caudales, tiempos y volúmenes de lodos en la unidad de sedimentación planta Monteadentro

FUENTE		Caudal promedio entrada (m3/s)	Caudal promedio Vaciado (m3/s)	Caudal Promedio Salida (m3/s)	Tiempo (s)	Volumen (m3)	
LAVADO DE FILTROS	RETROLAVADO DE UN FILTRO	0,036	-----	0,036	420	15	
PURGA DE SEDIMENTADOR	SEDIMENTADOR 1	-----	-----	0,02	120	2,4	4,8
	SEDIMENTADOR 2	-----	-----	0,02	120	2,4	
LAVADO DE SEDIMENTADOR	SEDIMENTADOR 1	-----	-----	0,029	2700	80,241	161,02
	SEDIMENTADOR 2	-----	-----	0,029	2700	80,241	
	AGUA MANGUERA	0,0002	-----	0,0002	2700	0.54	

Fuente: Autor

Con respecto a la cuantificación de la purga de los sedimentadores 1 y 2 de la planta Monteadentro mostrada en la tabla 8, se aforó el caudal de lodo que salió al momento de abrir las válvulas siendo este de 0.02 m3/s durante los 120 segundos que dura cada purga, con esto se determinó el volumen total de purga de 4.8 m3.

La cantidad de purgas realizadas al día es de 2 veces correspondiente a 60 purgas al mes las cuales multiplicadas por el volumen del tanque da un total de 144 m3 de lodo descargado al mes, siempre y cuando se tenga en cuenta la época del año ya sea verano o invierno y el grado de colmatación que se presente.

Es considerable el volumen de lodo generado por los sedimentadores 1 y 2 al momento de ejecutarse el lavado general de la planta tal como se muestra en la tabla, este tiene un valor de 161.02 m3 que es descargado al cauce.

Si bien al comparar la cantidad de lodo producido por la planta Cariongo con respecto a la planta Monteadentro, es claro que la mayor producción de lodos se lleva a cabo en la primera planta con un porcentaje 88.69% mas de lodos.

A continuación la tabla 9 indica el tiempo exacto en el que es vaciado el sedimentador 1 de la planta Cariongo debidamente cronometrado y es de 39.30 minutos a unas medidas estipuladas de 0.40 metros según la profundidad del tanque de 3.06 metros, hallando la velocidad con la que desciende el agua y el lodo contenida en dicho tanque equivalente a 0.00154 m/s (metros por segundo).

TABLA 9. Medición del tiempo de vaciado del sedimentador N° 1 planta Cariongo

MEDIDA (m)	TIEMPO (min)	TIEMPO (s)	VELOCIDAD DE DESCENSO (m/s)
0.40	3.28	196.8	0.0020
0.40	3.42	205.2	0.0019
0.40	3.57	214.2	0.0018
0.40	4.10	246	0.0016
0.40	4.21	252.6	0.0015
0.40	4.30	258	0.0015
0.40	4.56	273.6	0.0014
0.40	5.51	330	0.0012
0.40	6.35	381	0.0010
TOTAL VACIADO (min):	39.30	VELOCIDAD PROMEDIO (m/s):	0.00154

Fuente: Autor

En la tabla 10 se estima el caudal promedio de lodo que produce el sedimentador 1 en la planta Cariongo correspondiente a 0.2359 m³/s (metros cúbicos por segundo) gracias al área y la velocidad promedio en que se vacía el tanque.

TABLA 10. Estimación caudal promedio de lodos en el sedimentador N° 1 planta Cariongo

VELOCIDAD PROMEDIO DE DESCENSO (m/s)	AREA DEL SEDIMENTADOR (m ²)	CAUDAL PROMEDIO DE EVACUACION (m ³ /s)
0.00154	153.202	0.2359

Fuente: Autor

El proceso es el mismo para la tabla 11 la cual indica el tiempo exacto que se cronometró al momento de vaciado del sedimentador 2 de la planta Cariongo siendo este de 46 minutos, con una profundidad de 3.06 metros dividida en partes iguales de 0.40 metros y así se halla la velocidad en que desciende el contenido del tanque que viene siendo de 0.00134 m/s (metros por segundo).

TABLA 11. Medición del tiempo de vaciado del sedimentador N° 2 planta Cariongo

MEDIDA (m)	TIEMPO (min)	TIEMPO (s)	VELOCIDAD DE DESCENSO (m/s)
0.40	3.38	202.8	0.0019
0.40	3.51	210.6	0.0018
0.40	4.16	249.6	0.0016
0.40	4.44	266.4	0.0015

0.40	5.02	301.2	0.0013
0.40	5.32	319.2	0.0012
0.40	6.14	368.4	0.0010
0.40	6.50	390	0.0010
0.40	7.53	451.8	0.0008
TOTAL VACIADO (min):	46	VELOCIDAD PROMEDIO (m/s):	0.00134

Fuente: Autor

De igual forma la tabla 12 indica la estimación del caudal promedio de lodo producido por el tanque sedimentador 2 de la planta Cariongo de 0.2109 m³/s (metros cúbicos por segundo).

TABLA 12. Estimación caudal promedio de lodos del sedimentador N° 2 planta Cariongo

VELOCIDAD PROMEDIO DE DESCENSO (m/s)	AREA DEL SEDIMENTADOR (m ²)	CAUDAL PROMEDIO DE EVACUACION (m ³ /s)
0.00134	157.438	0.2109

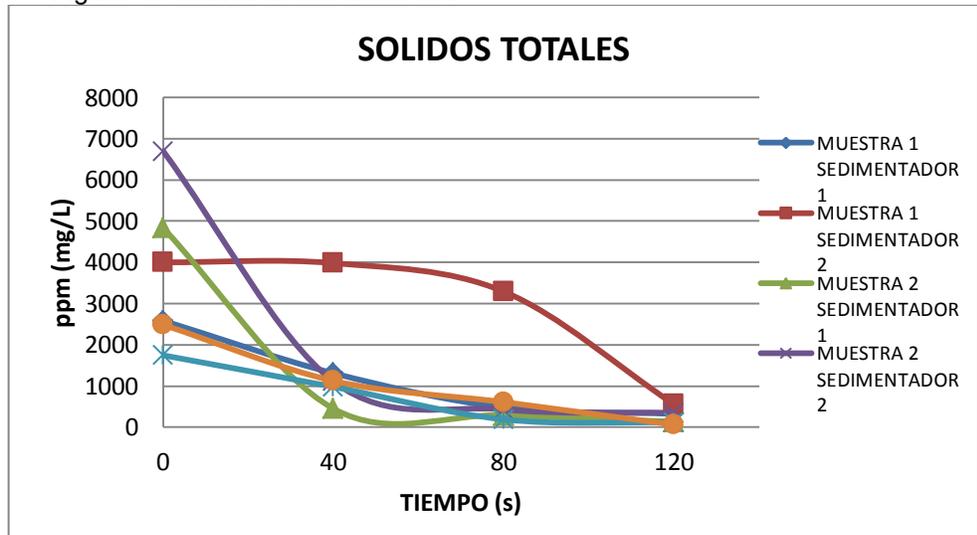
Fuente: Autor

7.3. CARACTERIZACION DE LODOS EN LAS PLANTAS CARIONGO Y MONTEADENTRO

7.3.1. PURGA DE SEDIMENTADORES

Se evidencia los datos obtenidos en la caracterización de la purga de los sedimentadores 1 y 2 efectuado en la planta Monteadentro.

Figura 7. Grafica de los datos ST.

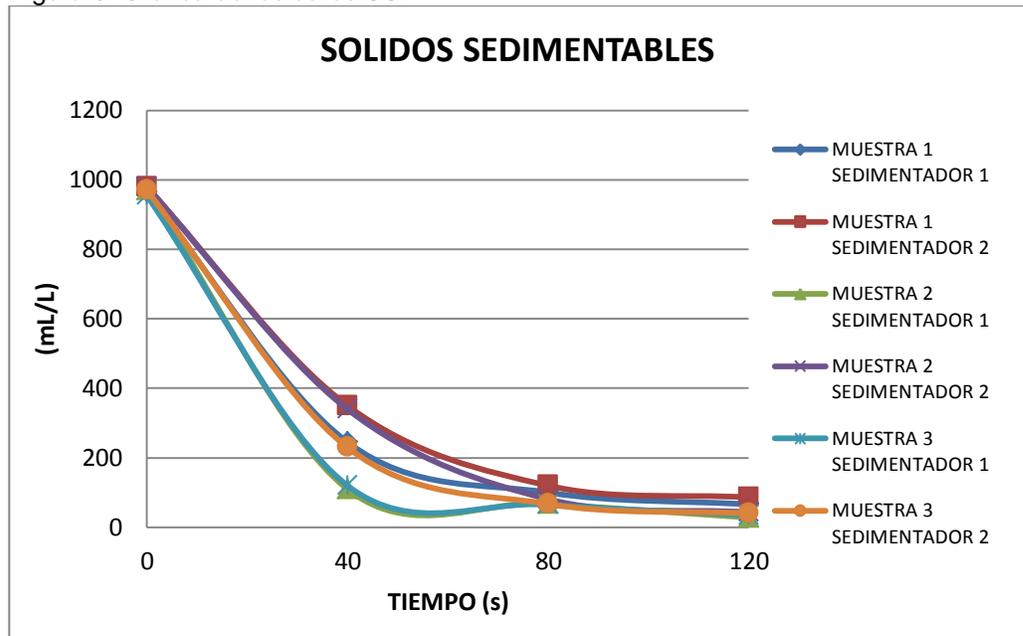


Fuente. Autor

En la figura 7 se grafican los resultados de cada una de las muestras puntuales generadas por la purga observándose como decrece la cantidad de sólidos contenida en las muestras a medida que son evacuadas con respecto al tiempo de su descarga.

El intervalo 1 en un tiempo cero muestra claramente la cantidad exacta de lodos que sale al momento exacto de abrir las válvulas de purga, denotándose la concentración máxima de solidos totales, igualmente revelando el mismo comportamiento para las 4 muestras analizadas. Además como puede observarse al cumplirse los 120 segundos, tiempo en el cual culmina la purga el comportamiento de la curva se encuentra entre los intervalos 0 y 1000 mg/L de solidos totales presentes en las muestras, considerando que son los valores mínimos de solidos que son descargados con respecto al inicio de la purga.

Figura 8. Grafica de los datos SS.



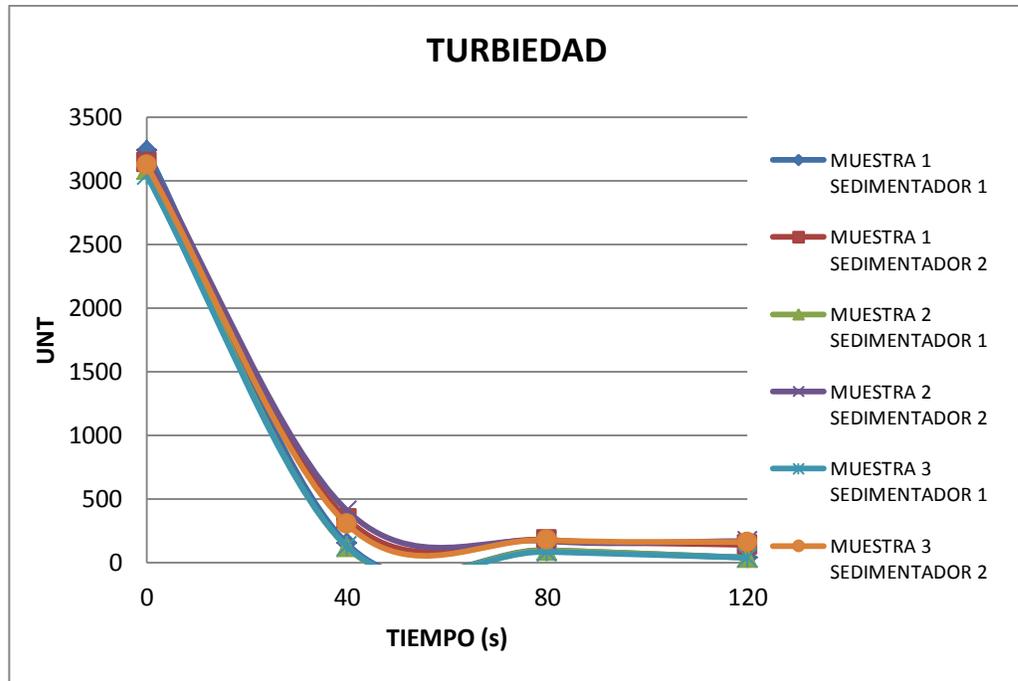
Fuente. Autor

Los datos registrados en la figura 8 representan la medida del volumen de los sólidos asentados al fondo del cono imhoff en un periodo de una hora según lo acordado, evidenciando de esta manera como las primeras muestras puntuales evacuadas por la purga al primer intervalo de tiempo poseen un alto contenido de solidos con difícil sedimentación por más que el tiempo de una hora haya transcurrido.

Según las muestras analizadas se observa la considerable proporcionalidad entre los resultados de los sólidos totales con respecto a los sólidos sedimentables.

De acuerdo con el artículo 8 de la resolución 0631 del 2007 las descargas de lodo de la planta Monteadentro supera los valores límites máximos permisibles que se pueden verter a los cuerpos de agua superficiales por parte de los prestadores de servicio público de alcantarillado con una carga menor o igual a 625,00 Kg/día de DBO5, esta comparación se realiza acorde al proyecto ejecutado por Castaño en la caracterización de los lodos, exactamente en la medición del parámetro DBO5 en las descargas de los lodos de la misma planta en estudio.

Figura 9. Grafica de los datos de Turbiedad.



Fuente. Autor

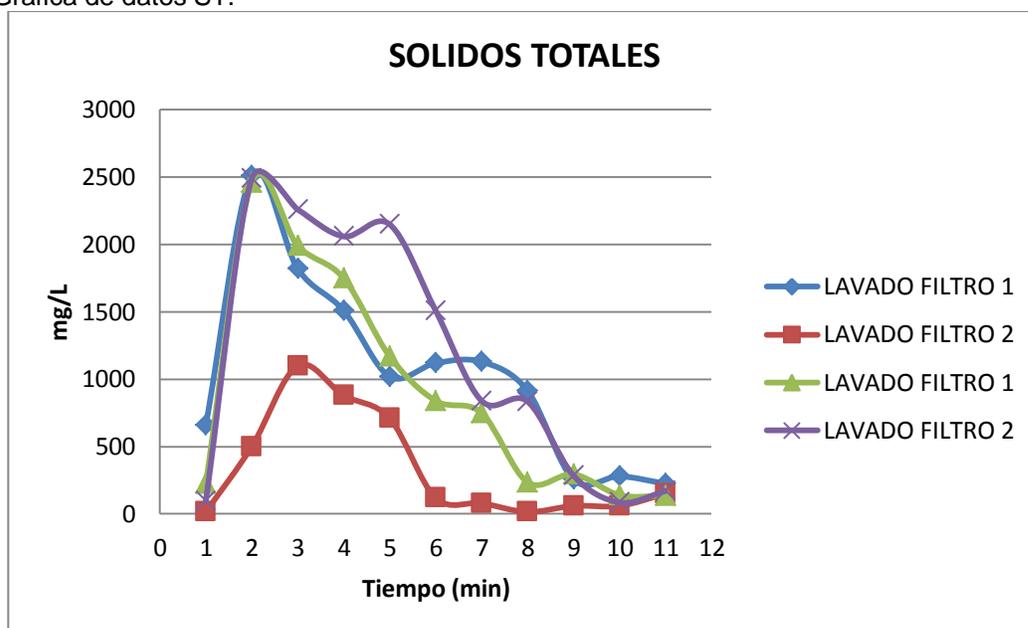
En el caso de los resultados adquiridos al momento de determinar la turbiedad de las muestras puntuales como se aprecia en la figura 9, es preciso decir que la primera muestra tomada en el intervalo de 0 a 40 segundos que a pesar de las diluciones realizadas para estimar su valor, aun así presentó un rango alto de turbiedad entre 3000 y 3500 UNT al ser lodos con alta concentración de sólido y coloración muy pronunciada, a diferencia de las dos últimas muestras puntuales las cuales por su poco contenido de sólido su turbiedad manejó valores que no superan los 500 UNT.

Esta grafica maneja la misma proporcionalidad con los sólidos sedimentables y sólidos totales mostrados anteriormente ya que sus comportamientos reflejan mucho parecido por ser parámetros relación lógica y de esta forma al llegar a caracterizar los lodos fue de fácil análisis.

7.3.2. LAVADO DE FILTROS

En la determinación de las características de los filtros se realizó el lavado de los filtros 1 y 2 de la planta Cariongo en repetidas ocasiones como se manifestó en la metodología empleada para la toma de las muestras.

Figura 10. Grafica de datos ST.

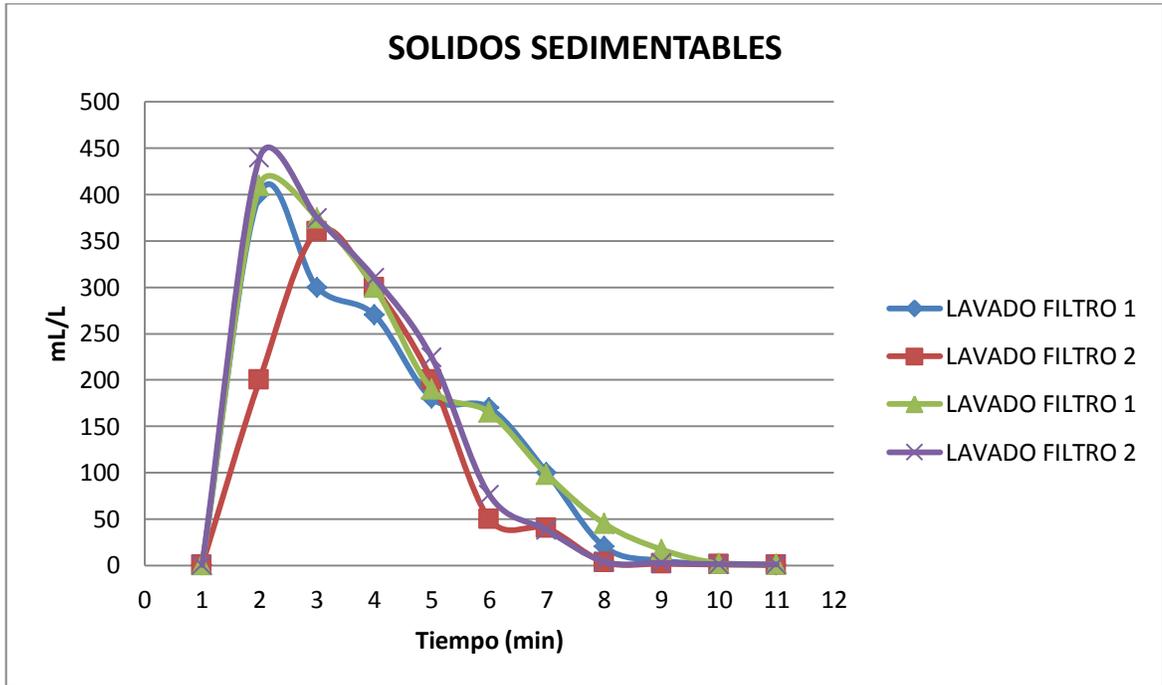


Fuente. Autor

La determinación de los sólidos totales en las muestras del lavado de los filtros como lo refleja la figura 10, al minuto uno se ubica la muestra puntual del vaciado del filtro que como bien se observa se encuentra en un rango no mucho mayor a 500 mg/L por ser un agua con poca concentración de solido ya que debido a su proceso de filtrado es mínimo el lodo presente en ella.

A partir de ahí se ubican los resultados del proceso de retrolavado en donde claramente se evidencia que entre el minuto 2 y 3 alcanza la mayor concentración de lodo, y a partir del minuto 8 empieza a descender la concentración del lodo manteniéndose por debajo de 500 mg/L y con un valor mínimo de 15 mg/L en donde se ve culminado el proceso de retrolavado.

Figura 11. Grafica de datos SS.

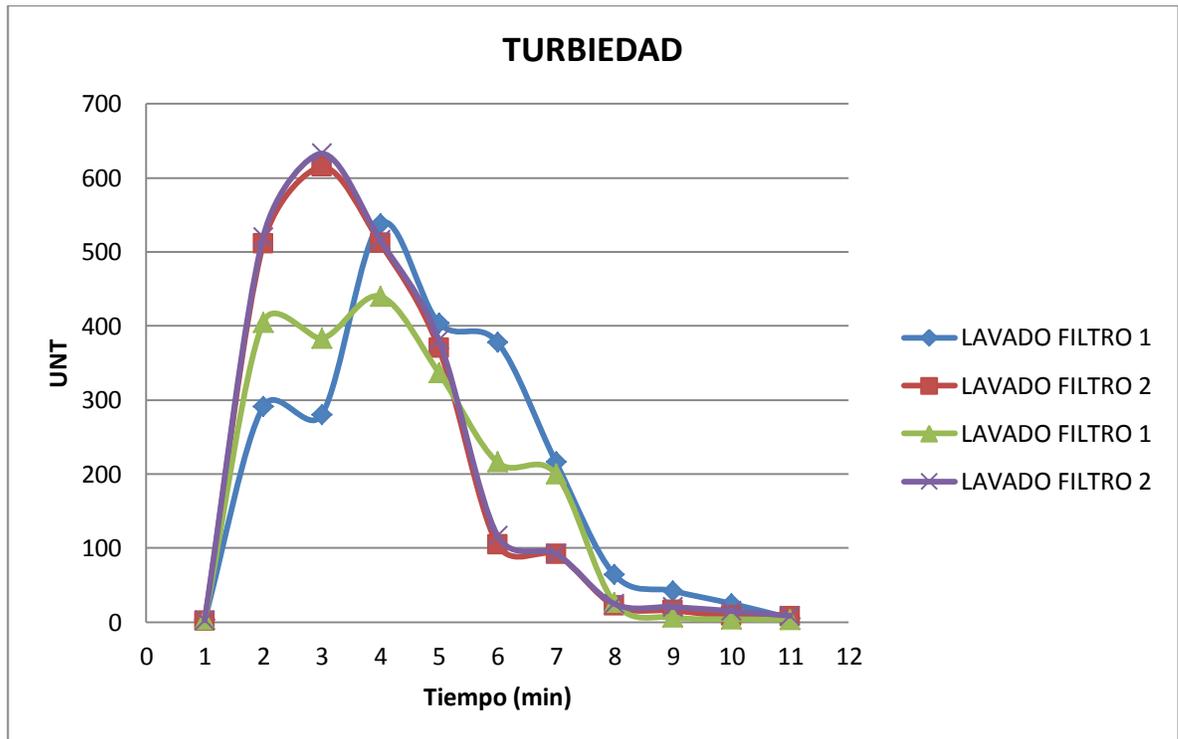


Fuente. Autor

Semejante a la figura 10 de sólidos totales, la figura 11 establece los resultados de los sólidos sedimentables para las mismas muestras puntuales guardando la proporcionalidad entre los minutos 2 y 3 donde alcanza la máxima concentración de sólidos, asimismo se nota el equilibrio que van adaptando las muestras sedimentadas a partir del minuto 9 hasta culminar el retrolavado.

Conforme al artículo 8 de la resolución 0631 del 2007 las descargas de lodo durante los lavados de los filtros de la planta Cariongo supera los valores límites máximos permisibles que se pueden verter a los cuerpos de agua superficiales por parte de los prestadores de servicio público de alcantarillado con una carga menor o igual a 625,00 Kg/día de DBO5.

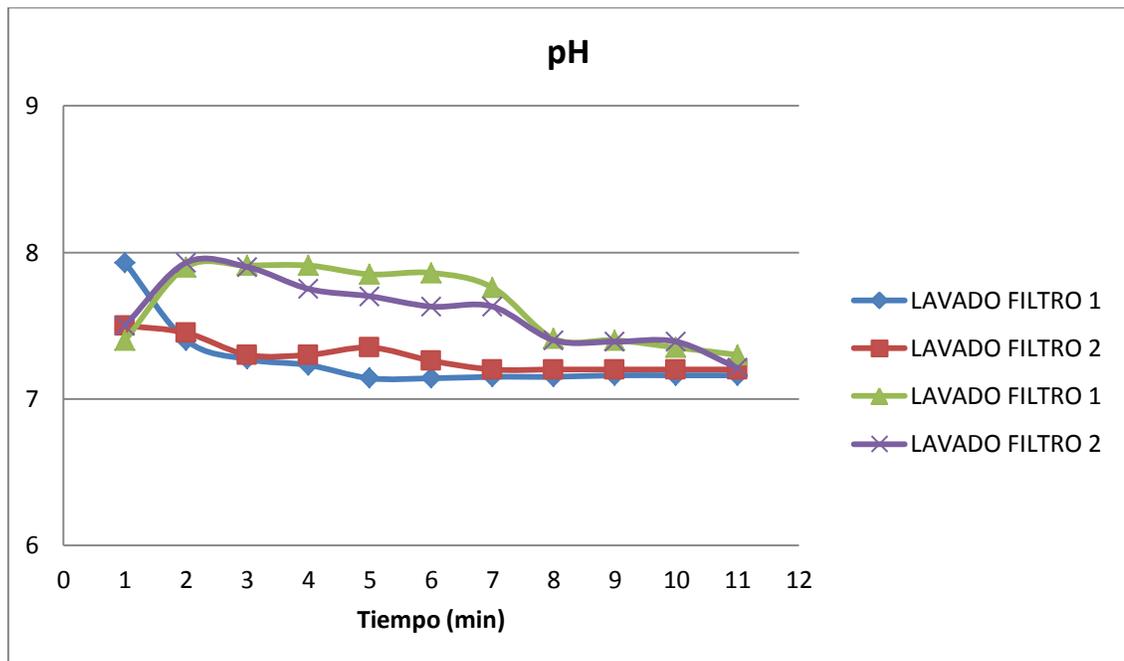
Figura 12. Grafica de datos de Turbiedad



Fuente. Autor

Los datos graficados en la figura 12 hacen referencia a la turbiedad medida en las muestras puntuales de vaciado y retrolavado, presentando un comportamiento similar a la figura 10 y 11 de la determinación de solidos totales y sedimentables respectivamente, ya que guarda relación en cuanto al contenido de solido en las muestras y la coloración oscura que presentan. Proporcionando una mayor turbiedad en el minuto 3 con valores que superan los 600 UNT para las muestras puntuales del filtro 2 de la planta Cariongo.

Figura 13. Grafica de datos de pH.



Fuente. Autor

Es importante la determinación del pH en los lodos y por tal motivo se tabularon los resultados conseguidos en las muestras puntuales donde se aprecia perfectamente en la figura 13 que aun al haber transcurrido el tiempo no de vaciado y retrolavado el pH no sobrepasa los valores 8.0 y tampoco se muestran valores menores a 7.0.

Existe una coherencia entre estos datos evidenciados anteriormente y los estipulados por la resolución 0631 del 2007 exactamente el artículo 8, donde el valor límite máximo permisible en los vertimientos puntuales de las aguas residuales por parte de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales.

7.3.3. LAVADO DE SEDIMENTADORES

Tabla 13. Caracterización de los lodos del lavado de sedimentadores plantas Cariongo y Monteadentro.

ACTIVIDAD	ST (mg/L)	SS (MI/L)	TURBIEDAD UNT	pH
LAVADO SEDIMENTADOR 1 CARIONGO	20085	995	3320	8.4
LAVADO SEDIMENTADOR 2 CARIONGO	20160	995	3416	8.4
LAVADO SEDIMENTADOR 1 MONTEADENTRO	15515	980	3200	8.31
LAVADO SEDIMENTADOR 2 MONTEADENTRO	11530	981	3187	8.3

Fuente: Autor

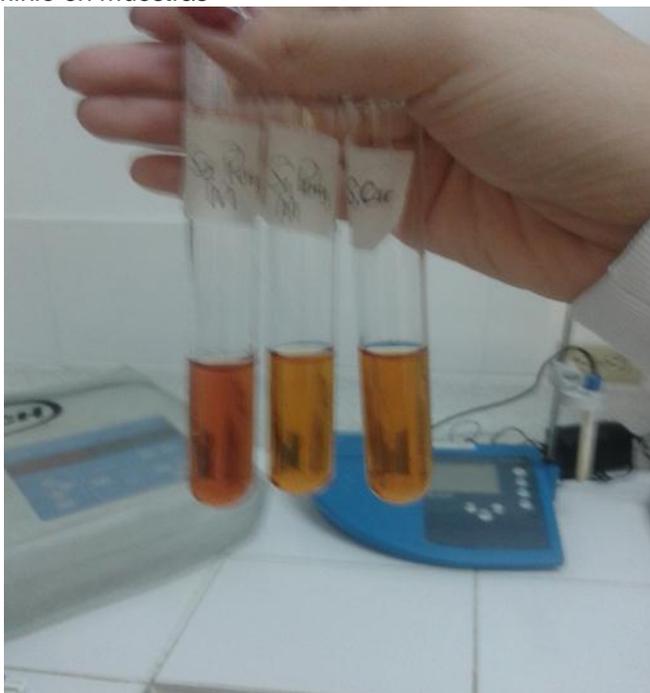
Dentro de la tabla 13 se muestran los resultados arrojados en la caracterización de las muestras compuestas de los sedimentadores 1 y 2 de las plantas Cariongo y Monteadentro, como se indica la cantidad de solidos totales no presentan grandes variaciones manteniéndose en rangos entre 20085 mg/L y 20160 mg/L para la planta Cariongo y en la planta Monteadentro como bien se aprecia no sobrepasa el valor de 15515 mg/L, igualmente la cantidad de solidos sedimentables medidos no difieren mucho incluso en las muestras de ambas plantas teniéndose en cuenta que de la muestra de 1000 ml solo lograron sedimentarse entre unos 5 y 10 ml de sólido.

Los rangos de turbiedad se encuentran entre 3187 y 3416 NTU aun con las diluciones hechas a las muestras del sólido, para el rango de pH se encuentran entre 8.0 y 8.4 manteniendo estos valores estándar dentro de lo legalmente alcalino.

7.3.4. DETERMINACION DE CONTENIDOS DE ALUMINIO EN LAS MUESTRAS

Al observar los resultados obtenidos en la determinación de Aluminio en las muestras de lodo producidas por los sedimentadores 1 y 2 de las plantas Cariongo y Monteadentro, es evidente la presencia del metal debido a la coloración amarilla – naranja que estas arrojaron en el instante de haber sido agregados los reactivos en el laboratorio como se evidencia en la figura 14.

Figura 14. Reacción de aluminio en muestras



Fuente. Autor

De acuerdo a esto en la tabla 14 se relacionan los datos obtenidos en el espectrofotómetro referente al contenido de Aluminio.

Tabla 14. Determinación del contenido de aluminio en las muestras.

DETERMINACION DE ALUMINIO		
MUESTRAS	CONTENIDO ALUMINIO (mg/L Al+3)	
SEDIMENTADOR 1 PLANTA CARIONGO	22,9	53,9
SEDIMENTADOR 2 PLANTA CARIONGO	22,3	53,2
PURGA SEDIMENTADOR 1 PLANTA MONTEADENTRO	68	93,7
PURGA SEDIMENTADOR 1 PLANTA MONTEADENTRO	57,4	96,2

Fuente. Autor

Si bien se denota que los contenidos de Aluminio para las muestras de lodo generadas por los sedimentadores 1 y 2 de la planta Cariongo y Monteadentro son altos con respecto a lo establecido en la norma 1594 de 1984, más exactamente

en el Artículo 40 que establece los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola y el Artículo 41 que son los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario, que al ser comparados estos resultados de la tabla 14 con los presentados por la normativa en los anexos 7 y 8 se están haciendo vertimientos que no cumplen con los requerimientos mínimos estipulados, donde el cauce lleva consigo aguas abajo estos depósitos de aluminio con lo cual puede generar afectaciones a la salud humana.

Se compararon los datos de la tabla 14 con algunos datos de la determinación del contenido de aluminio en los lodos producidos durante el proceso de potabilización de la planta Los Berros, del sistema Cutzamala, Edo. De México la cual suministra agua potable a las ciudades de Toluca y México como se aprecia en el anexo 9, cuyos valores de concentración del metal manejan un rango similar con los que se obtuvieron en las pruebas de Aluminio de los lodos de las plantas Cariongo y Monteadentro.

7.4. ACONDICIONAR LOS LODOS SEGÚN EL POLIMERO SELECCIONADO

Tabla 15. Volumen de agua clarificada según dosificación del polímero Catiónico 2470

POLIMERO CATIONICO 2470		
VASO	DOSIS	VOLUMEN AGUA CLARIFICADA (ml)
1	10	200
2	20	500
3	30	600
4	40	650
5	50	700
6	100	730
7	200	700

Fuente. Autor

Tabla 16. Volumen de agua clarificada según dosificación del polímero Catiónico 2062

POLIMERO CATIONICO 2062		
VASO	DOSIS	VOLUMEN AGUA CLARIFICADA (ml)
1	5	250
2	10	300
3	20	500
4	30	500

5	40	550
6	50	600
7	60	600
8	100	700
9	200	650

Fuente. Autor

Tabla 17. Volumen de agua clarificada según dosificación del polímero Aniónico

POLIMERO ANIONICO		
VASO	DOSIS	VOLUMEN DE AGUA CLARIFICADA (ml)
1	5	200
2	10	250
3	15	300
4	20	550
5	30	600
6	40	600
7	100	700
8	200	600

Fuente. Autor

Las tablas 15, 16 y 17 contienen los datos del volumen de agua clarificada removida a partir de la dosificación del polímero utilizado Catiónico 2470, Catiónico 2062 y Aniónico respectivamente.

Según las pruebas de acondicionamiento al dosificar el polímero en grandes cantidades como fueron 100 y 200 ppm, el lodo se aglomeraba de tal forma que sedimentó inmediatamente resultando un volumen proporcional de agua clarificada y no hubo necesidad de manejar un tiempo de mezcla lenta durante el ensayo de jarras como se muestra en la figura 15, por tal caso se accedió utilizar dosis pequeñas y analizar lo que se fue obteniendo que como bien se denota la cantidad de agua clarificada disminuyó a medida que las dosis disminuyeron también, pero el lodo mantuvo una consistencia adecuada para realizarle el filtrado y de esta forma obtener un volumen de agua clarificada exacta con respecto al que se encontraba contenido en el lodo a prueba.

Es importante mencionar que cada polímero reflejó ciertos detalles al momento de ser agregados, si bien los tres cumplieron muy bien la función de sedimentación y el agua sobrenadante sin mucha turbiedad a simple vista, pero en el caso de los polímeros Aniónico y Catiónico 2062 quedaba un mínimo de partículas

suspendidas, sin embargo, el polímero Catiónico 2470 logro sedimentar absolutamente todo el sólido.

De esta forma se determinó que al agregar las dosis de 10 y 20 ppm el lodo conservó una consistencia óptima para filtrar y aun así el agua clarificada obtenida era mucho mayor que con otras dosificaciones. Debido a esto así se prosiguió a filtrar el lodo acondicionado con las dosis mencionadas anteriormente.

Figura 15. Pruebas de acondicionamiento de los lodos



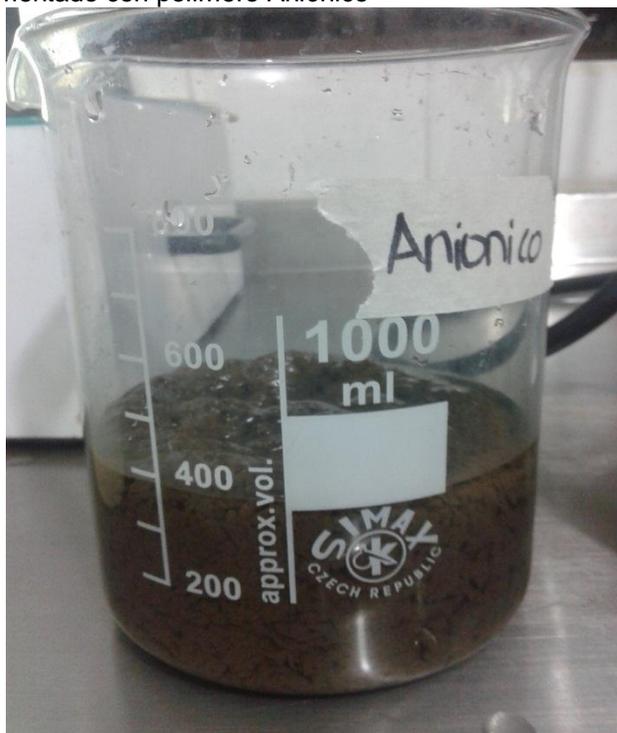
Fuente: Autor

Figura 16. Lodo sedimentado con polímero Catiónico 2470



Fuente: Autor

Figura 17. Lodo sedimentado con polímero Aniónico



Fuente: Autor

Figura 18. Muestras de 50 ml de lodo dispuestas a filtrar



Fuente: Autor

Tabla 18. Datos de acondicionamiento del lodo y determinación de parámetros

TIPO DE POLIMERO	CANTIDAD DE MUESTRA: 50ML				
	DOSIS: 10 PPM				
	TIEMPO	VOLUMEN FILTRADO	TURBIEDAD	pH	CONDUCTIVIDAD
	(min)	(ml)	UNT		
ANIONICO	3.29	44	12.8	7.1	152.2
CATIONICO 2062	3.43	42	9.35	7.1	147.6
CATIONICO 2470	3.58	45	5.76	7	150.9

Fuente. Autor

Tabla 19. Datos de acondicionamiento del lodo y determinación de parámetros

TIPO DE POLIMERO	CANTIDAD DE MUESTRA: 50ML				
	DOSIS: 20 PPM				
	TIEMPO	VOLUMEN FILTRADO	TURBIEDAD	pH	CONDUCTIVIDAD
	(min)	(ml)	UNT		
ANIONICO	1.05	47	12.1	7	148.5
CATIONICO 2062	1.32	47	8.63	7.1	143.6
CATIONICO 2470	1.55	48	5.34	7.2	149.6

Fuente. Autor

Habiéndose seleccionado las muestras acondicionadas de 10 y 20 ppm por su eficiencia al sedimentar el sólido, el paso que se siguió fue tomar la cantidad de 50 ml del contenido y filtrarlo.

Las tablas 18 y 19 nos manifiestan el tiempo y el volumen exacto de agua que se filtró, además la caracterización efectuada al agua filtrada con valores de turbiedad bajos, un pH entre 7.0 y 7.2 que puede decirse es un rango bueno para un agua clarificada y valores de conductividad dentro de lo aceptable; indicando así que esta agua filtrada proveniente del proceso de acondicionamiento del lodo puede volver a recircularse al proceso de potabilización de la planta.

A partir de estos resultados se puede decir que el polímero Catiónico 2470 manifiesta un mejor rendimiento en comparación de los otros dos polímeros ya que de una muestra de 50 ml de lodo acondicionado filtra un volumen de 48 ml de agua en un tiempo exacto de 1 minuto y 55 segundos. El agua filtrada que presento una turbiedad de 5.34 UNT y un pH de 7.0, valores aparentemente buenos según la normativa colombiana sobre los parámetros fisicoquímicos de un agua residual.

7.5. SELECCIÓN DE LA DESHIDRATACION MECANICA

Tabla 20. Matriz de decisión de la alternativa de deshidratación de lodos

VARIABLES DE DECISION	VALOR DE IMPORTANCIA	FILTRO PRENSA	CENTRI FUGA	FILTROS DE VACIO	FILTROS PRENSA DE CINTA	LECHOS DE SECADO
Mano de obra	2	1	2	2	1	2
Eficiencia de separación de solidos	4	4	3	2	2	4
Volumen del equipo	3	1	2	1	1	3
Confiabilidad en la operación	3	3	1	2	2	4
Calidad del Agua tratada	4	4	1	2	2	4
Costos de inversión	4	2	3	1	2	4
Capacidad	4	3	4	2	2	3
Mantenimiento y limpieza	2	1	2	1	1	1
% Humedad de la pasta	3	3	2	2	2	3
Total	29	21	20	15	15	28
% de decisión	100%	76%	69%	56%	56%	99%

Fuente: Autor

Llegado el momento de la elección de la técnica de deshidratación de lodos se llevó a cabo la realización de una matriz de decisión como se aprecia en la tabla 20 expuesta anteriormente, la cual contiene una serie de variables de decisión y unos valores de importancia que influyen de manera directa en el proceso de tratamiento que se desarrollará en los lodos de las plantas Cariongo y Monte dentro. Por la dificultad de desarrollar pruebas a escala piloto, se buscó información sobre las tecnologías existentes, y aplicando la metodología propuesta por Cacia y Saravia (2008)¹¹, se adecuó dicha matriz para cuatro técnicas mecánicas de deshidratación y la técnica física de lechos de secado con la información disponible de cada una.

¹¹ CACUA, Carolina & SARAVIA Dionisio. Diseño conceptual del proceso de tratamiento de lodos para la planta BOSCONIA DEL A.M.B S.A E.S.P. Bucaramanga, 2008. Trabajo de Grado (Ingeniería Química) Universidad Industrial de Santander.

Estas variables se compararon de forma que arrojaran una alternativa eficiente de deshidratación y de esta forma completar el diseño preliminar para tratar a los lodos.

Se evaluaron varios aspectos como utilización de mano de obra, eficiencia en la separación de sólidos, Volumen de los equipos, entre otros.

En cuanto a la mano de obra necesaria para los procesos de centrifugación y los filtros de vacío es menor con respecto a los filtros prensa y los filtros prensa de cinta, ya que estos dos últimos se debe retirar manualmente la torta de solido de las placas y de las cintas respectivamente y así darle una disposición final.

La eficiencia de separación de solidos con un valor de importancia muy alto, es notable que el filtro prensa es la tecnología más eficiente para brindar mejores resultados que las otras tres tecnologías en cuestión, debido a que remueve el mayor porcentaje de material solido al momento del filtrado.

La evaluación del volumen del equipo nos lleva a determinar que los tres tipos de filtros ocupan un gran espacio y se debe tener en cuenta esto por la disponibilidad de zonas vacías dentro de la planta con respecto a la centrifuga ya que su proporción es mucho menor que los filtros.

En cuanto a la confiabilidad en la operación que tiene un nivel de importancia alto y dentro del cual se destaca el filtro prensa por manejar un proceso de operación de mayor efectividad a diferencia de los otras técnicas y por esta razón se evalúa la calidad del agua tratada, donde igualmente el filtro prensa es quien maneja un valor de importancia muy alto por la aceptación de lodos con diferente capacidad de filtración de acuerdo al acondicionamiento previo que este haya o no recibido, mientras que las otras tecnologías operan con lodos que tengan condiciones determinadas y más reducidas basándose en el tipo de lodo y las características propias de estos afectando así algunos parámetros que determinan la calidad del agua clarificada.

La siguiente variable de decisión es el costo de inversión, según estudios el filtro de vacío es la tecnología más costosa razón por la cual su implementación ha declinado, siendo el centrifugado el más viable por su bajo costo de inversión inicial para el tratamiento de lodos.

La capacidad de las centrifugas es mucho más amplia según su disposición en el mercado en comparación con las demás técnicas que emplean variedades de bandas y placas que no superan la centrifuga.

El mantenimiento y la limpieza de los equipos como los filtros de vacío, filtros prensa de cinta y filtros prensa requieren de mayor operación debido a las lubricaciones internas, en el caso del filtro prensa y el filtro prensa de cinta la

limpieza de las placas y bandas utilizadas necesitan un gasto de agua más alto a diferencia de los demás; la centrifuga por encontrarse todo el proceso de deshidratado en un solo punto es mucho más breve la limpieza del dispositivo y requiere menos mantenimientos y paralizaciones.

El porcentaje de humedad contenido en la torta de lodo es más bajo en el filtro prensa con respecto a los otros dispositivos mecánicos ya que por su nivel de eficiencia este logra deshidratar mucho más el sólido dejando pasar un volumen más alto de agua clarificada.

7.6. DISEÑO PRELIMINAR DEL TRATAMIENTO DE LOS LODOS

El diseño preliminar del tratamiento de lodos para la planta Cariongo y Monte dentro se realizó en base a los resultados obtenidos en la cuantificación, caracterización, el acondicionamiento y la técnica de deshidratación de los lodos en estudio.

7.6.1. Tanque Ecuilizador

El tanque ecualizador para la planta Cariongo estará a disposición del lodo proveniente del lavado de los sedimentadores y el lavado de 2 filtros (retrolavado), el volumen mínimo del tanque contará con una capacidad de 906.75 m³ que al momento de ajustarse con factores de seguridad proporcionara una medida adecuada de construcción; esta medida es acorde a la suma de dos retrolavado, el volumen de vaciado del sedimentador 2 que por su dimensionamiento es un poco más grande con respecto al sedimentador 1, teniendo en cuenta que al momento del lavado de la planta los tanques no se vacían al mismo tiempo sino que se deja uno funcionando y por último el volumen de agua de manguera empleada para la evacuación del lodo.

El lodo contenido en este tanque pasara por medio de tuberías al tanque espesador con un caudal de entrada aproximado de 0.328 m³/s de acuerdo al sistema operacional de la planta.

De igual forma se presenta también el diseño para la planta Monte dentro con un tanque ecualizador que reciba el lodo generado por la purga de sedimentadores, además del lavado general de la planta considerando el vaciado del sedimentador y 2 lavados de filtros con un volumen mínimo de 110.78 m³ que debe ajustarse a medidas de construcción para su implementación. De esta forma se circula un caudal de 0.041 m³/s aproximadamente dependiendo de los ajustes operacionales que se efectúen hacia el tanque de espesamiento por medio de tuberías.

7.6.2. Tanque Espesador

El ingreso del caudal del lodo se hará por medio de tuberías y en el caso de la planta Cariongo se diseñara un tanque espesador de lodos por gravedad con un volumen de aproximadamente 450 m³ debido al tiempo de sedimentación y tiempo de retención del sólido, esta dimensión se ajusta a la caracterización realizada a los lodos teniendo como base los resultados de los sólidos sedimentables; además el tanque contará con una tolva de lodos y unas rasquetas que arrastren el lodo precipitado hacia las arquetas de recogida evitando su compactación y así poder ser llevado hasta la tubería de evacuación donde saldrá con un caudal de 0.114 m³/s. Se debe tener en cuenta que el tanque permanecerá lleno gracias al caudal de entrada que proviene del tanque equalizador.

En el caso de la planta Monteadentro el tanque equalizador contara con una medida aproximada de 70 m³ sujetándose a las mismas especificaciones explicadas para el tanque espesador de la planta Cariongo y con un caudal de salida de más o menos 0.0205 m³/s.

7.6.3. Acondicionamiento

El acondicionamiento de los lodos para las plantas Cariongo y Monteadentro se llevara a cabo con un polímero Catiónico 2470 de alta carga y una dosis de 20 ppm (partes por millón) según los estudios realizados a las muestras y los resultados obtenidos después de analizados. Cabe resaltar que para que el proceso de acondicionamiento sea efectivo, debe implementarse una agitación mediante flujo turbulento haciendo alusión a la agitación por las paletas del ensayo de jarras y de esta forma haya una homogenización entre el polímero y el lodo.

7.6.4. Deshidratación

La deshidratación se llevara a cabo por medio de un filtro prensa para ambas plantas Cariongo y Monteadentro, que al realizarse una serie de comparaciones con respecto a las demás técnicas mecánicas expuestas en la matriz de decisión, se ve conveniente la utilización de un equipo igual o menor a 0.027 m³/s de capacidad compuesto por unas chapas prensadas con un sistema hidráulico – neumático que en este caso puede ser semiautomático y que tenga unas placas de 500x500 mm con movimiento de placas manuales; todas estas especificaciones se tienen en cuenta según lo disposición establecida en el mercado colombiano.

Por último y muy importante es mirar la altura del filtro prensa para que al momento de producirse la torta pueda ser recogida y retirada de las placas.

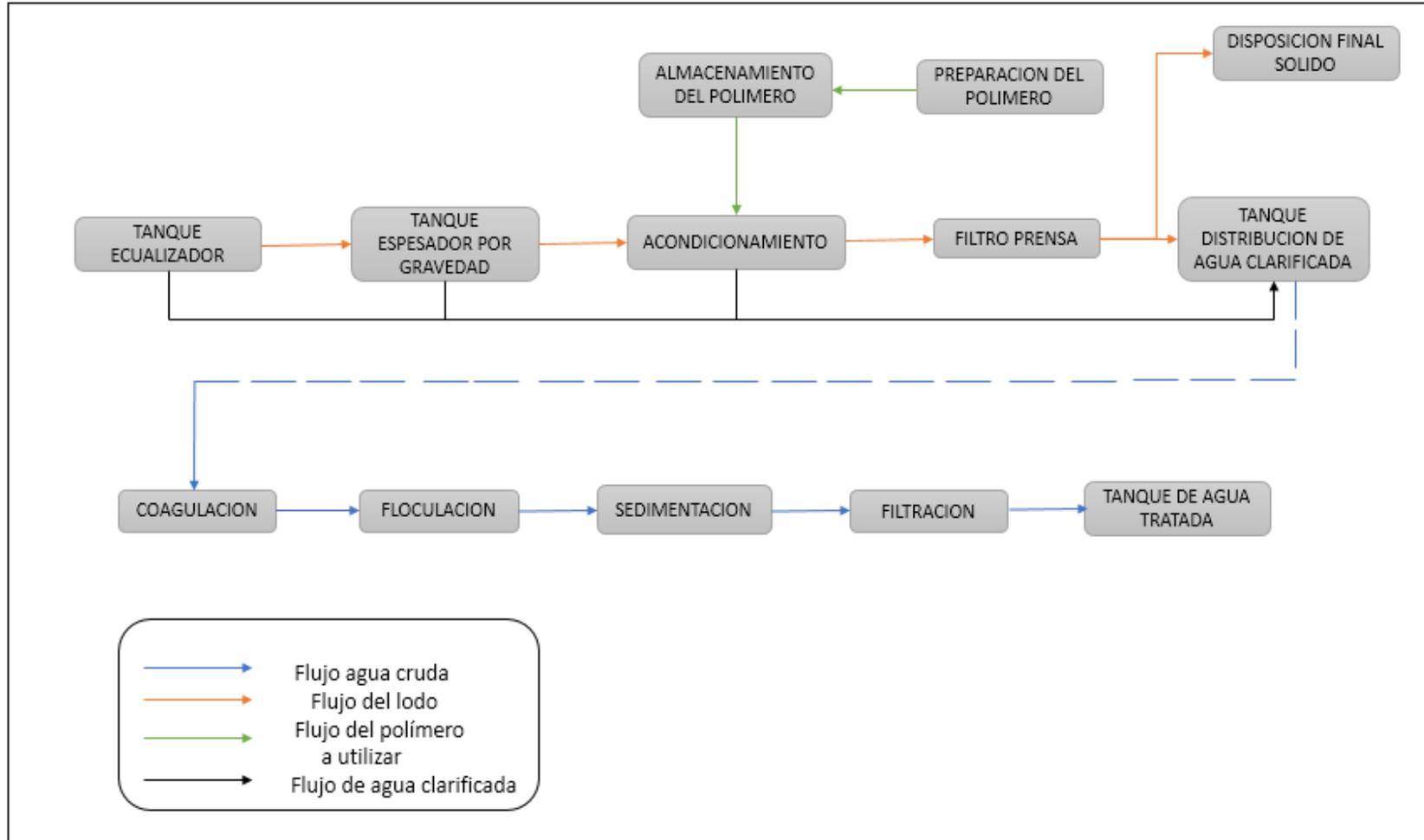
7.6.5. Tanque de almacenamiento y distribución

El tanque de almacenamiento el cual es el último proceso del diseño de la planta de tratamiento de lodos para la planta Cariongo recibirá los caudales de agua entrantes al tanque ecualizador, tanque espesador por gravedad, y el resultante en la filtración durante la deshidratación del lodo en el filtro prensa; siendo este caudal de agua clarificada del 80% aproximadamente dispuesta a la distribución por medio de tuberías al proceso de coagulación – floculación de la planta de tratamiento de agua potable de la planta Cariongo. El volumen de este tanque será de 500 m³ que debe ajustarse a los factores de seguridad estipulados para su construcción.

De igual manera el tanque de almacenamiento para la planta Monteadentro deberá tener un volumen de 200 m³ aproximadamente que también debe ajustarse a factores de seguridad para su debida construcción. Este tanque recibirá igualmente los caudales provenientes del tanque ecualizador, tanque de espesamiento por gravedad y el resultante por la filtración en el filtro prensa y así ser distribuida por tuberías para su recirculación a la planta de tratamiento de agua potable Monteadentro.

7.7. PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS

Figura 19. Diagrama del proceso de tratamiento de lodos en las plantas Cariongo y Monteadentro.



Fuente: Autor

CONCLUSIONES

- Según la cuantificación realizada la Planta Cariongo genera un porcentaje de lodos del 88.69% con respecto a la Planta Monteadentro, dándose por confirmado que los sedimentadores son los causantes de la alta cantidad de lodo producido.
- Según los resultados de la caracterización fisicoquímica en el retrolavado de los filtros, se apreció que a partir del minuto 9 la concentración de sólido no varía perceptiblemente, siendo este proceso el que menos producción de lodos descarga al cauce.
- En cuanto a la determinación del contenido de aluminio en los lodos vertidos al cauce, se comprobó que estos poseen valores muy altos que sobrepasan los límites máximos permisibles según la normativa colombiana 1594 de 1984.
- Al momento de la utilización de los polímeros en el proceso de acondicionamiento de los lodos, produjo un favorecimiento al proceso de filtración y deshidratación, resultando un agua clarificada que por turbiedad y pH, se encuentra dispuesta a la recirculación dentro de las plantas de tratamiento Cariongo y Monteadentro.
- Al comparar las técnicas mecánicas de deshidratación con respecto a la técnica de lechos de secado presentada en el proyecto titulado *PROPUESTA PARA EL MANEJO DE LOS LODOS DE LAS PLANTAS DE AGUA POTABLE EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA NORTE DE SANTANDER*, se decidió manejar la técnica mecánica debido a la poca viabilidad de los lechos de secado para las plantas en estudio.
- Al analizar las especificaciones de cada una de las técnicas mecánicas de deshidratación, se seleccionó el filtro prensa como una alternativa viable y eficiente a la hora de la separación sólido – líquido contenido en los lodos teniéndose en cuenta la flexibilidad en filtrar distintas concentraciones del mismo.

RECOMENDACIONES

- Fijar un tiempo específico de purgas a los sedimentadores de la planta monteadentro con el fin de estandarizar y llevar un control sobre el proceso garantizando de esta forma que no se presente la compactación del lodo en el fondo de los tanques y se evite el gasto de grandes volúmenes de agua de manguera para su evacuación y limpieza.
- Determinar pruebas sobre el contenido de aluminio y algunos parámetros fisicoquímicos al agua clarificada proveniente del filtro prensa con el fin de estipular la recirculación del agua clarificada directamente a los sedimentadores sin que sea necesario el paso por los procesos de coagulación – floculación.
- Se recomienda hacer estudios sobre la recuperación del sulfato de aluminio como coagulante a partir de los lodos producidos por las Plantas Cariongo y Monteadentro.
- Dar una disposición final a la torta de sólido resultante de la deshidratación en el filtro prensa, siempre y cuando se tenga en cuenta hacerle pruebas del grado de toxicidad y peligrosidad presente en el residuo.
- Establecer un manual con indicaciones sobre la dinámica del manejo de los procesos para el tratamiento de los lodos de modo que los operarios colaboren en el desarrollo de los procedimientos.
- La empresa debe adelantar los estudios necesarios para determinar espacios y disponibilidad de terreno para la construcción y adecuación de la planta de tratamiento de lodos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BUILES B., Sebastián. Tratamiento y adecuada disposición de lodos Domésticos e industriales. Pereira, 2010. Monografía (Tecnología Química). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías.
- [2] CACUA, Carolina & SARAIVA, Dionisio. *Diseño conceptual del proceso de tratamiento de lodos para la planta BOSCONIA DEL A.M.B S.A E.S.P.* Bucaramanga, 2008. Trabajo de Grado (Ingeniería Química) Universidad Industrial de Santander.
- [3] CASTAÑO, Jackeline. Propuesta para el manejo de lodos de las plantas de agua potable de EMPOPAMPLONA S.A E.S.P del municipio de Pamplona, Norte de Santander. Pamplona, 2016. Trabajo de Grado (Ingeniería Ambiental) Universidad de Pamplona. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- [4] Económico, M. de D. REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS-2000 SECCION II, TITULO C (2000). Colombia.
- [5] ESCOBAR, Juan Carlos. Selección de la dosis óptima de polímero para el acondicionamiento y deshidratación de lodos de plantas de agua potable mediante Centrífugas de laboratorio. XXVIII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL. Cancún, México, 2002.
- [6] GARCÉS A, Et al. Acondicionamiento de lodos producidos en el Tratamiento de agua potable. En: Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenibles y Salud Ambiental. Organización Panamericana de la Salud. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02263e09.pdf>
- [7] GARCIA, Antonio. *Calidad y tratamiento del agua, manual de suministros de agua comunitaria.* (A. García Brages, Ed.) (Quinta). España: McGraw Hill. 2002.
- [8] GUTIERREZ, Johnatan, RAMIREZ, Álvaro, RIVAS, Rodrigo, LINARES, Balmes y PAREDES, Diego. Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. En: Revista Ingenierías Universidad de Medellín. vol. 13, No. 25 (julio-diciembre de 2014); ISSN 1692 - 3324 /248 p. Medellín, Colombia
- [9] HOLGUIN ISAZA, Carlos Andrés. Diseño de un espesador por gravedad y eras de secado para los lodos producidos en la Planta de Tratamiento de

agua potable "ACUEDUCTOS LA ENEA Ltda." Manizales, 2003. Trabajo de Grado (Ingeniería Química) Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.. p.52.

- [10] RAIGOSA Restrepo, M. A. (2012). EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LODOS PROVENIENTES DE LAS PLANTAS DE POTABILIZACION DE AGUA DE LOS MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA MEDIANTE EL ANALISIS COSTO-BENEFICIO. Universidad Tecnológica de Pereira. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2702/62839R149.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [11] RAMIREZ, Francisco. Lodos producidos en el tratamiento de agua potable. *Técnica Industrial* 275. 2008.
- [12] RAMIREZ, Guillermo. *Manejo de lodos producidos en la planta de tratamiento de agua potable, planta II, del municipio de Cartago, Valle*. Manizales, 2003. Trabajo de Grado (Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- [13] SANDOVAL, Y. Et al. Tratabilidad de los lodos producidos en la potabilización del agua. Jiutepec, Morelos, México.
- [14] SUPERSERVICIOS, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Evaluación Integral de Prestadores Empresa de Servicios Públicos de Pamplona S.A. E.S.P., EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. 2016.

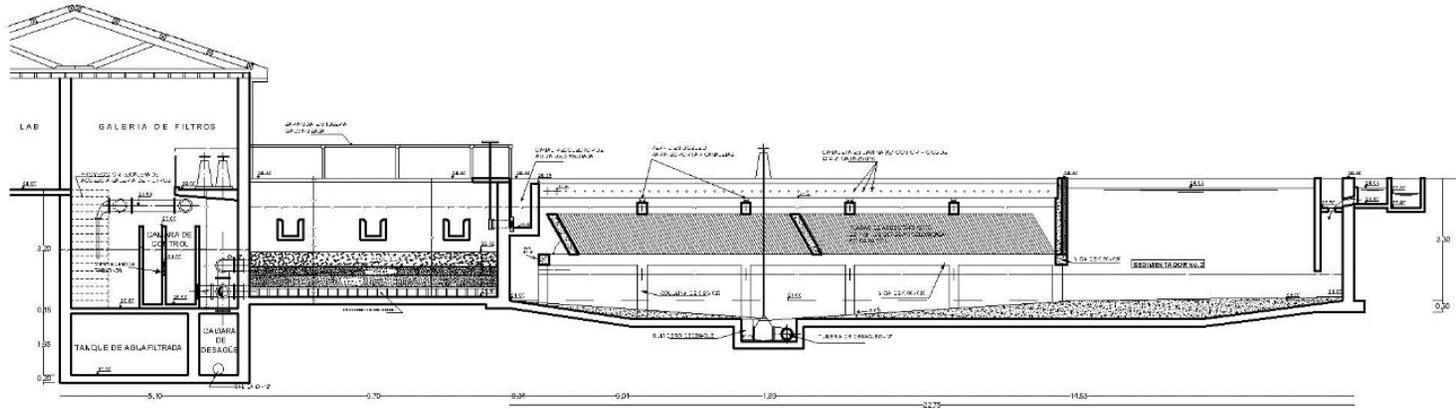
ANEXOS

Anexo 1 Implicaciones y requisitos asociados con los métodos convencionales de vertido

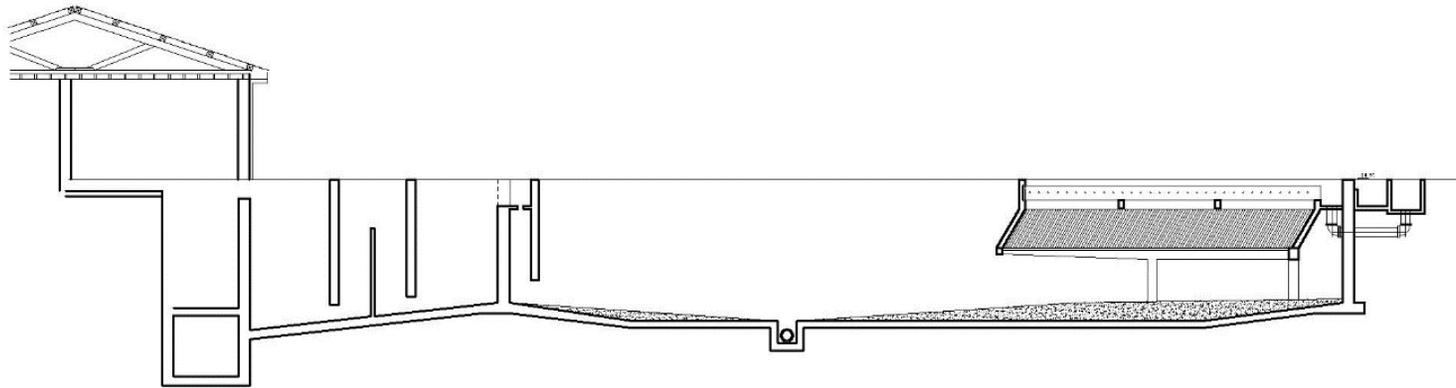
METODO DE VERTIDO	RIESGOS E IMPLICACIONES NORMATIVAS	OTROS REQUISITOS
Vertido a aguas superficiales	Limitaciones a la recepción de corrientes Radionucleidos Olores (Sulfuro de Hidrogeno) Niveles bajos de Oxígeno disuelto Toxicidad de Sulfuros Bajos pH	Zona de mezcla Posible pretratamiento Difusores múltiples Modelización de la corriente receptora
Inyección en pozo profundo	Capa de confinación Apertura a las USOWs Integridad del pozo de inyección Corrosividad	Revestimiento del pozo Pozo de monitorización Pruebas periódicas de integridad La calidad del agua del concentrado debe ser compatible con la calidad del agua en la zona de inyección
Riego por aspersión	Protección del agua subterránea	Monitorización de los pozos Posible pretratamiento Modificación del sistema de vertido Necesidad de agua para riego Disponibilidad de aguas mezcladas
Campo drenante o perforación	Protección del agua subterránea	Monitorización de pozos Acondicionamiento del terreno y/o permeabilidad de rocas
Sistemas de colectores de vertido sanitario	Efecto sobre el rendimiento de las plantas locales de tratamiento de aguas residuales (toxicidad para la biomasa o sedimentación inhibida en los clasificadores)	Ninguno

Fuente: Manual de Suministros de Agua Comunitaria

Anexo 3. Vista frontal planta Cariongo



CORTE A - A' ESC. 1 : 50



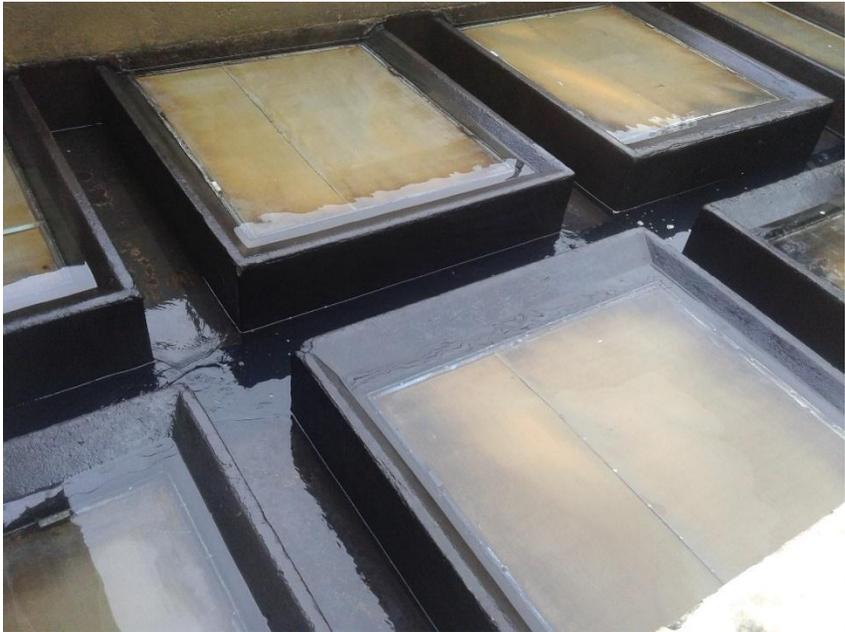
CORTE B - B' ESC. 1 : 50

Anexo 4. Lavado del tanque sedimentador



Fuente. Autor

Anexo 5. Lavado del filtro(Vaciado)



Fuente. Autor

Anexo 6. Lavado de filtro (Retrolavado)



Fuente. Autor

Anexo 7. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR
Aluminio	Al	5
Arsenico	As	0.1
Berilio	Be	0.1
Cadmio	Cd	0.01
Cinc	Zn	2
Cobalto	Co	0.05
Cobre	Cu	0.2
Cromo	Cr+6	0.1
Fluor	F	1
Hierro	Fe	5
Litio	Li	2.5
Manganeso	Mn	0.2
Molibdeno	Mo	0.01
Niquel	Ni	0.2
pH	Unidades	4.5 - 9.0 unidades

Plomo	Pb	5
Selenio	Se	0.02
Vanadio	V	0.1

Fuente: Decreto 1594 de 1984

Anexo 8. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario

REFERENCIA	EXPRESADO COMO	VALOR
Aluminio	Al	5
Arsenico	As	0.2
Boro	B	5
Cadmio	Cd	0.05
Cinc	Zn	25
Cobre	Cu	0.5
Cromo	Cr+6	1
Mercurio	Hg	0.01
Nitratos + Nitritos	N+	100
Nitrito	N	10..0
Plomo	Pb	0.1
Contenido de Sales	Peso total	3

Fuente: Decreto 1594 de 1984

Anexo 9. Caracterización del lodo producido en la planta potabilizadora Los Berros

MUESTRA	TURBIEDAD FTU	pH	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Si (mg/L)	ST (g/L)	STF (g/L)	STV (g/L)
1	294	7.14	50	~	46	0.575	0.47	0.105
2	541	7.09	~	~	~	0.923	~	~
3	150	7.15	23	5.61	19	0.4425	~	~
4	101.6 NTU	6.51	157	34.38	98.9	2.025	2.3	0

Fuente: Tratabilidad de los lodos producidos en la potabilización del agua.