

**EVALUACIÓN DE DOS MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE LOS LODOS
PROVENIENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
DEL TABLAZO MEDIANTE DESHIDRATACIÓN CON GEOTEXTIL NT Y
CENTRIFUGACIÓN**



**YUDI MARCELA AHUMADA BENAVIDES
DANIELA LISETH ANDRADE ROSERO**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN
2019**

**EVALUACIÓN DE DOS MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE LOS LODOS
PROVENIENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
DEL TABLAZO MEDIANTE DESHIDRATACIÓN CON GEOTEXTIL NT Y
CENTRIFUGACIÓN**



**YUDI MARCELA AHUMADA BENAVIDES
DANIELA LISETH ANDRADE ROSERO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
INGENIERAS AMBIENTALES Y SANITARIOS**

**Director de trabajo de grado modalidad trabajo de investigación
M.S.c. Ronald Cerón.**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYAN
2019**

Nota de presentación:

El director y los jurados del trabajo de grado, modalidad trabajo de investigación: “Evaluación de dos métodos de reducción de los lodos proveniente de la planta de tratamiento de agua potable del tablazo mediante deshidratación con Geotextil NT y centrifugación”. Una vez revisado el informe final y aprobado la sustentación, autorizan para que se realicen los trámites concernientes para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitario.

Director trabajo de investigación

Firma del jurado 1

Firma del jurado 2

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y la fortaleza para continuar y culminar este proceso.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

A nuestros hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A nuestros compañeros y amigos por apoyarnos cuando más lo necesitamos, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este proceso que marca en mi vida el comienzo de un nuevo camino y con ello grandes cosas buenas, solo puedo dar a Dios gracias porque tengo las herramientas necesarias para seguir creciendo como persona y como profesional, a mi Ángel, mi madre Fabiola Cecilia Rosero por enseñarme a vivir, aferrarme y a luchar por la vida todos los días, a mi padre Húlio Andrade mis hermanos Mayerly y Edwin Andrade porque me han hecho crecer como persona y por ser ejemplo de lucha y perseverancia cuando se tiene un objetivo, por su amor y su apoyo incondicional. Finalmente al docente Ronald Cerón por su colaboración y su guía en este arduo camino. A mis Demás compañeros y profesores mil gracias por hacer de este proceso el más bello recuerdo y por permitirme compartir esta gran experiencia.

Daniela Liseth Andrade Rosero

Agradezco a Dios por bendecir cada día, por guiar mi existencia y ser el apoyo en momentos de dificultad y debilidad. Gracias mis a padres, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos y las orientaciones brindadas. Agradezco a los docentes de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión. Finalmente quiero expresar un gran y sincero agradecimiento al Mg. Ronald Cerón, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su Dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo

Yudi Marcela Ahumada Benavides.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	14
ABSTRAC	16
INTRODUCCION	17
CAPÍTULO I: PROBLEMA	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2 JUSTIFICACIÓN	19
1.3 1.3 OBJETIVOS	21
1.3.1 Objetivo general	21
1.3.2 Objetivos específicos	21
CAPITULO II: MARCO TEORICO O REFERENTES CONCEPTUALES	22
2.1 ANTECEDENTES	22
2.2 BASES TEORICAS	24
2.2.1 Planta de tratamiento de agua potable (PTAP)	24
2.2.2 Sedimentadores	24
2.2.3 Lodos producidos por las plantas de tratamiento de agua potable	24
2.2.4 Efecto de los lodos en contacto con las fuentes hídricas	24
2.2.5 Tratamiento de lodos	25
2.2.6 Alternativas de tratamiento de lodo	25
2.2.7 Deshidratación de lodos	26
2.2.8 Duración de carrera	27
2.2.9 Pérdida de carga	27
2.2.10 Geotextil NT	27
2.2.11 Función del Geotextil NT.	27
2.2.12 Centrífuga	28
2.2.13 Sólidos totales (ST)	28
2.2.14 pH	28

2.2.15	Turbidez	28
2.3	ZONA DE ESTUDIO	30
2.3.1	Misión	31
2.3.2	Visión	32
2.3.3	Objetivos	32
2.3.4	Principios y valores institucionales.	32
2.3.5	Órganos de control, regulación y vigilancia	33
2.3.6	Procesos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable El Tablazo	34
2.4	BASES LEGALES	28
2.5	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PTAP EL TABLAZO	34
2.5.1	Generalidades del sistema de abastecimiento	34
2.5.2	Descripción de las unidades que comprenden el sistema de abastecimiento	35
	CAPITULO III: METODOLOGIA	38
3.1	FASE I: CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS	39
3.1.1	Recopilación y análisis de información	39
3.1.2	Diagnóstico inicial	39
3.1.3	Puntos de muestreo	39
3.1.4	Medición de caudal	40
3.1.5	Medición de Sólidos Totales (ST)	42
3.1.6	Muestreo	39
3.1.7	Análisis fisicoquímico	43
3.2	FASE II: MONTAJE DE PILOTOS LODOS MÉTODO GEOTEXTIL NT y centrifugado	44
3.2.1	Caracterización del geotextil	44
3.2.2	Dimensionamiento de los filtros	44
3.2.3	Implementación del geotextil NT	45
3.2.4	Medición de remoción de lodos	47
3.2.5	Pérdida de carga	47
3.2.6	Centrifugación de lodos	47
3.2.7	Acondicionamiento del lodo	48
3.3	FASE III: EVALUACIÓN GEOTEXTIL + CENTRIFUGADO	48
3.3.1	Centrifugación de lodos filtrados por el geotextil	48

3.4 FASE IV: MODELO ESTADÍSTICO	49
3.4.1 Aplicación del método estadístico	49
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS	50
4.2 MONTAJE Y ENSAYO DE PILOTOS, MÉTODO GEOTEXTIL NT Y CENTRIFUGADO	52
4.3 ANÁLISIS DE VELOCIDAD	54
4.4 ANÁLISIS GEOTEXTIL+ CENTRÍFUGA	60
4.5 ANÁLISIS POLÍMERO + CENTRÍFUGA	61
4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	69
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5.1 CONCLUSIONES	71
5.2 RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFIA	75
ANEXOS	80

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Alternativas para el manejo de lodos provenientes de las plantas de potabilización	26
Cuadro 2. Marco normativo de lodos	29
Cuadro 3. Análisis fisicoquímico	43

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Contenido de agua en los lodos	27
Tabla 2. Recopilación de datos.	39
Tabla 3. Características del Geotextil NT	44
Tabla 4. Características iniciales del lodo	50
Tabla 5. Recopilación de datos	51
Tabla 6. Porcentaje de remoción de la turbiedad (UNT) del efluente de lavado del sedimentador, mediante el uso del Geotextil (NT 1600) a diferentes velocidades	52
Tabla 7. Porcentaje de remoción de Sólidos Totales (ST) con el tratamiento de Geotextil NT 1600. En los meses Agosto y Septiembre (Periodo Seco)	55
Tabla 8. Porcentaje de remoción de Sólidos Totales (ST) con el tratamiento de Geotextil NT 1600. En los meses Octubre y Noviembre (Perido Lluvioso)	55
Tabla 9. Porcentaje de remoción de Turbidez, implementando la centrifuga	58
Tabla 10. Eficiencia de los polímeros en remoción de turbidez	62
Tabla 11. Comparación de remoción de sólidos totales (ST).	63
Tabla 12. Parámetros iniciales del diseño de la centrifuga.	65
Tabla 13. Comparación de los métodos en relación con la eficiencia de remoción de turbidez	69
Tabla 14. Determinación de media y varianza	70

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Tratamiento de lodos	25
Figura 2. Procesos de la Planta de tratamiento de agua potable El Tablazo	34
Figura 3. Ubicación de la planta de tratamiento de agua potable El Tablazo	30
Figura 4. Planta de tratamiento de agua potable El Tablazo	31
Figura 5. Logo del Acueducto y Alcantarillado de Popayán	35
Figura 6. Fases de la metodología	38
Figura 7. Toma de la muestra del lodo	40
Figura 8. Altura de la lámina de agua	41
Figura 9. Medición con el macromedidor de caudal (Q)	41
Figura 10. Muestra de solidos totales (ST)	42
Figura 11. Esquema general del sistema experimental	45
Figura 12. Filtro con Geotextil y piezómetros	46
Figura 13. Montaje Tanque con aireador de pecera y filtro con geotextil	46
Figura 14. Saturación de lodos en el Geotextil	57
Figura 15. Centrífuga Thermo Fisher Scientific	48
Figura 16. Descripción general del proceso de polímero y centrífuga, parámetros de cálculo	65

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Pérdida de carga en función del tiempo	54
Gráfica 2. Eficiencia de remoción de turbidez en función del tiempo con el tratamiento de centrifugado	59
Gráfica 3. Eficiencia de remoción de turbidez aplicando los dos métodos (geotextil y centrífuga)	60
Gráfica 4. Eficiencia de los polímeros de turbidez	62
Gráfica 5. Porcentaje de remoción de Sólidos Totales (ST)	64

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Álbum fotográfico	81
Anexo B. Tablas de remoción de turbidez con método de geotextil	84
Anexo C. Tablas remoción de turbidez aplicando geotextil NT + centrífuga	89
Anexo D. Tabla remoción de turbidez, con polímero y centrífuga	95

RESUMEN

La planta de tratamiento de Agua Potable el Tablazo enfrenta una problemática por parte de la generación de grandes cantidades de lodos aluminosos resultantes del proceso de sedimentación. La descarga de los lodos producidos en la PTAP a un cuerpo receptor, puede producir problemas ambientales tales como alteraciones al ecosistema acuático debido a la formación de fangos o depósitos de lodos, aumento de la turbiedad y sólidos suspendidos de las aguas del río Cauca. Además afectan a comunidades que se abastecen aguas abajo, provocando alteraciones en la salud tales como pérdida de la memoria, problemas renales, cardíacos e infecciones cutáneas y respiratorias.

Se investigaron los lodos provenientes del proceso de sedimentación, donde se emplearon dos métodos de deshidratación, el primero consiste en emplear Geotextil NT 1600, el cual según estudios realizados, por sus características presenta resultados favorables con respecto a la deshidratación y remoción de sólidos totales ST. El segundo tratamiento es la centrifugación y acondicionamiento del lodo, con la aplicación de un polímero comercial el cual permite aumentar la eficiencia en la remoción de sólidos totales y turbidez donde factores como el tiempo en la centrífuga influyen significativamente sobre la eficiencia de remoción.

Para la implementación de cada uno de los tratamientos se construyó un filtro que posee un diámetro de 14 cm y una altura total de 50 cm, está acondicionado para trabajar con una velocidad de filtración de 2, 3 y 4 m/h, estas velocidades fueron reguladas ajustando el caudal de entrada al filtro por medio de un dosificador de cabeza constante el cual está ubicado en el tanque de distribución. Se utilizó una centrífuga con 1200 RPM la cual cuenta con 10 tubos de 15 ml, donde se realizaron las pruebas en función del tiempo de rotación 1 – 5 minutos mediante el cual se determinó que el mayor porcentaje de eficiencia de remoción ocurrió en el minuto 2.

Luego de aplicar los dos tratamientos realizando pruebas de laboratorio se logró constatar la eficiencia de cada uno de los métodos actuando por separado y conjuntamente, dentro de los resultados obtenidos se encontró que con la aplicación del Geotextil se logró disminuir la turbidez en un porcentaje que oscila entre 80 – 96%, mientras que en los sólidos totales alcanzó remociones de un 80- 94%, en el caso de la centrífuga presentó remociones del 85 – 97% en relación a la turbidez y en sólidos totales

Palabras clave: lodos, sedimentador, centrífuga, geotextil NT 1600, turbidez, sólidos totales, polímero, eficiencia de remoción.

ABSTRACT

The potable water treatment plant El Tablazo faces a problem on the part of the generation of large quantities of aluminous sludge resulting from the sedimentation process. The discharge of the sludge produced in the PTAP to a receiving body, can produce environmental problems such as alterations to the aquatic ecosystem due to the formation of sludge or sludge deposits, increased turbidity and suspended solids from the waters of the Cauca River. They also affect communities that supply themselves downstream, causing alterations in health such as loss of memory, kidney problems, cardiac and skin and respiratory infections.

We investigated the sludge from the sedimentation process, where two dehydration methods were used. The first consists in using Geotextile NT 1600, which according to studies carried out because of its characteristics presents favorable results, with respect to dehydration and solid removal. Total ST, the second treatment is the centrifugation and conditioning of the sludge, with the application of a commercial polymer which allows to increase the efficiency in the removal of total solids and turbidity where factors such as the time in the centrifuge significantly influence the removal efficiencies.

For the implementation of each of the treatments, a filter with a diameter of 14 cm and a total height of 50 cm was built, it is conditioned to work with a filtration speed of 2, 3 and 4 m / h, these speeds were regulated by adjusting the inlet flow to the filter by means of a constant head doser which is located in the distribution tank. A centrifuge with 1200 RPM was used, which has 10 tubes of 15 ml, where the tests were carried out according to the rotation time 1-5 minutes, by which it was determined that the highest percentage of removal efficiency occurred in minute 2 .

After applying the two treatments by performing laboratory tests it was possible to verify the efficiency of each of the methods acting separately and jointly, within the results obtained it was found that with the application of the Geotextile it was possible to reduce the turbidity by a percentage that oscillates between 80 - 96%, while in the Total Solids I achieve removals of 80-94%, in the case of the centrifuge I present removals of 85 - 97% in relation to turbidity and in Total Solids

Keywords: Sludge, sedimentation, centrifuge, NT 1600 geotextile, Turbidity, Total Solids, polymer, removal efficiency.

INTRODUCCION

La legislación ambiental nacional establece que las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) deben disponer de una forma adecuada los lodos producto de los diferentes procesos de tratamiento en los cuerpos de agua del cual se abastecen, esto debido a que la práctica común de las plantas de potabilización consistía en verter los residuos que se generen, directamente en los cauces del río, afectando su calidad, niveles y generando un impacto sobre los mismos (Cárdenas y Gonzáles, 2015).

La ciudad de Popayán, cuenta con tres plantas de abastecimiento de agua potable tipo convencional, las cuales se encuentran en puntos estratégicos con el fin de que se pueda abastecer todos los sectores de la ciudad. La PTAP el Tablazo es la más grande ya que abastece la zona oriental y norte de la ciudad, pese a que la planta cuenta con los sistemas y las estructuras adecuadas para prestar un buen servicio de agua con una buen calidad, ha surgido un serie de inconvenientes debido al subproducto de estos procesos como lo son los lodos residuales, ya que no se ha establecido un tratamiento que reduzca su volumen, pues si bien se sabe, estos son vertidos a la red de alcantarillado y posteriormente al río Cauca, lo que puede desencadenar un serie de problemas ambientales y un incumplimiento de la normatividad (Cajas, 2012).

La aplicación de este proyecto busca definir una metodología en la que se pudiera dar solución a dicha problemática. En estudios recientes se ha evaluado este tipo de lodo, con el fin de conocer sus características y poder guiar en la toma de decisiones a la hora de seleccionar el tratamiento que brinde el mejor manejo de estos y asimismo brindar una herramienta que facilite el cumplimiento a la normatividad, mejorando el entorno socio ambiental y económico

En el presente trabajo de grado, se incluyen los dos métodos que facilitarían la deshidratación y reducción del volumen de los lodos a escala piloto, como lo es el Geotextil NT 1600 el cual en estudios anteriores ha demostrado tener una gran eficiencia en reducción de los mismos, así también la centrífuga que presenta resultados favorables.

CAPÍTULO I: PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, un alto número de plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) sólo gestionan la producción de agua para el consumo humano, sin prestar atención a la producción de lodos y subproductos que se generan en el proceso, dichos residuos son vertidos directamente a corrientes de agua, con una alta carga de Aluminio (Al), afectando no sólo a las comunidades que se encuentran río abajo sino también al medio acuático (Fernández, 2003).

Generalmente estos lodos son llevados a rellenos de seguridad o en el peor de los casos dispuestos directamente a las fuentes hídricas, condición que no está permitida y se encuentra legislada por el Decreto 3930 de 2010 expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el cual en su Artículo 25 prohíbe la disposición de los lodos generados en el tratamiento de agua en fuentes hídricas superficial, subterráneas, marinas, y sistemas de alcantarillado (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

En la mayoría de ciudades y municipios colombianos estos lodos son reintegrados a las fuentes hídricas sin tratamiento alguno, lo cual contribuye a la contaminación del ambiente para zonas cercanas, dichos lodos representan del 0.3 al 1% del agua tratada. Uno de los lodos más característicos y de efectos más graves sobre el medio son los lodos aluminosos (Paredes, 2014). Ampliando este concepto Ramírez y Hurtado (2003), afirman que este tipo de lodos pueden afectar la salud humana a nivel de las células renales cuando éstos no pueden ser eliminados con facilidad, lo que posibilita el mal funcionamiento de otras células como las cardíacas y las cerebrales, incluso se han detectado pacientes sometidos a diálisis cuando el agua utilizada tenía concentraciones de aluminio por encima del 0.08 Mg/L.

La descarga de los lodos producidos en la PTAP el Tablazo a un cuerpo receptor, puede producir problemas ambientales tales como la formación de fangos o depósitos de lodos en las zonas de baja velocidad de flujo del río, aumento de la turbiedad y sólidos suspendidos de las aguas del río Cauca, disminución de la actividad fotosintética, riesgo de contaminación bacteriana patogénica y aumento del crecimiento microbiano del agua y posibles efectos tóxicos por exceso de aluminio sobre algunos organismos acuáticos (Vásquez y Hernández, 2012).

De manera particular se ha analizado la situación de la planta de agua potable El Tablazo, donde se presenta una situación que es poco favorable para la empresa, se debe al manejo y la inadecuada disposición de los lodos. Si bien es sabido, la composición, características y su alto volumen hace que este tipo de residuos deba ser correctamente manejado, debido a que estos lodos retornan a las fuentes hídricas como el río Cauca, que desencadena una serie de problemas aguas abajo, pues existen comunidades que se abastecen del río para actividades domésticas u otras como la pesca, ganadería o agricultura (Cajas, 2012).

Por ende se debe optar por buscar medidas que aporten soluciones que permitan dar respuesta a dicha problemática y dar cumplimiento a la norma vigente. Para ello se deberán tener en cuenta factores como los sociales y los económicos, ya que algunas medidas de solución resultan ser de altos costos.

Ante esta problemática se ha planteado dos alternativas de solución que permitan la reducción del volumen de los lodos. La deshidratación es una técnica que consiste en eliminar el agua de los sólidos, concentrándolos aún más y dentro de esta técnica se encuentra el espesamiento.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El manejo de lodos está asociado a su potencial de aprovechamiento y se dispone sólo como un residuo, aumentando así, la cantidad de residuos a disponer directamente a los ríos. Dentro de las problemáticas que han generado la inadecuada disposición de los lodos y la falta de medidas o tratamientos que disminuyan la carga contaminante y su excesivo volumen, ha surgido la necesidad de brindar alternativas que permitan dar un mejor control a los residuos generados luego de los procesos que se llevan a cabo en la PTAP para obtener agua de buena calidad (Aldana y Pérez, 2017).

Un método que ha venido siendo estudiado para remover lodos es el uso de geotextiles no tejidos (NT) como medio filtrante, el cual ha venido siendo probado en otros tipos de efluentes con grandes éxitos y bajos costos de implementación poseen un área superficial específica entre 10 000 y 20 000 m^2/m^3 y porosidad superior al 85%, lo cual hace que la probabilidad de remover partículas y almacenarlas sea alta, además de; incrementar la carrera de filtración (Escobar y Peña, 2010).

Por otra parte, gracias al material de fabricación por su naturaleza apolar, permite que las partículas sean retenidas y que no se adhieran de manera permanente en el Geotextil, lo que hace que el proceso de limpieza sea sencillo. Por esta razón se cree que mediante la utilización de Geotextiles NT se pueda mejorar tanto el proceso de filtración con mayor porcentaje de retención de sólidos, minimizando la polución del recurso hídrico evitando que la población que usa este recurso aguas abajo tenga problemas de salud por los altos contenidos de aluminio en el agua (García y Fernández, 2017).

De igual manera por las características de los lodos se sabe que contienen un alto porcentaje de agua, lo que hace que tengan un alto volumen, por tal motivo se ve la necesidad de optar por el método de centrifugación. Dentro de las ventajas de este método se encuentra la disminución del volumen en un 50% y 70%, considerable reducción del consumo de energía, los gastos y costos de inversión son mínimos debido a que su funcionamiento es automático y continuo, para su instalación se requiere de poco espacio, además de eso tiene una alta capacidad de rendimiento y para evitar la emisión de malos olores su construcción es cerrada (Aldana y Pérez, 2017).

La implementación de estos métodos es de gran importancia para la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Popayán ubicada en el sector de El Tablazo ya que ha surgido la necesidad de adoptar medidas que permitan dar cumplimiento con las exigencias de la normatividad colombiana y además esta empresa quiere contribuir de manera directa a mejorar la calidad de vida de las personas y el medio los cuales se ven afectados por los vertimientos directos que se hacen al río Cauca.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general.

Evaluar la disminución del volumen de lodos proveniente de la planta Tratamiento de agua potable El Tablazo aplicando el proceso de Geotextil NT y centrifugado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar una caracterización de los lodos provenientes de la PTAP El Tablazo.
- Comparar las dos alternativas Geotextil NT y Centrifugado en relación a la deshidratación de lodos.
- Evaluar cómo actúan conjuntamente las dos alternativas Geotextil NT + Centrifugado.

CAPITULO II: MARCO TEORICO O REFERENTES CONCEPTUALES

2.1 ANTECEDENTES

El uso de geotextiles no tejidos es una práctica que ha sido estudiada desde los años 80 en países como Inglaterra y Brasil con el objeto de mejorar las condiciones de calidad, operación y mantenimiento de los sistemas potabilizadores de agua. Dadas las características tanto de porosidad, superficie específica, polaridad y aumento de las carreras de filtración de los geotextiles NT se infiere que son una salida técnica y de bajo costo que puede ser aplicada en la filtración, lo cual generará mayores eficiencias en cuanto a operación y mantenimiento en las unidades (García y Fernández, 2017).

En la universidad Carlos III de Madrid en el año 2011 se desarrolló un proyecto el cual consistía en la elaboración de una estación centrifugadora para la deshidratación de fangos provenientes de aguas residuales, ya que en la actualidad se ve la necesidad de realizar este tipo de estaciones con el fin de reducir la carga contaminante de estas aguas antes de ser vertidas a un cuerpo de agua, además para de esta manera darle otro uso y disminuir los impactos que éstas generan al medio ambiente y a la comunidad; para la elección del método de centrifugación se tuvo en cuenta las características de los lodos debido que según la teoría los lodos que poseen entre 60 – 90% de agua es apropiado aplicar este tipo de método por su bajo costo, alta eficiencia así como el reducido espacio para su instalación (Seco, 2011).

Un grupo de investigadores dirigido por José Rivero de la universidad nacional de Trujillo de Perú han analizado de manera particular la problemática que sufren los agricultores del distrito de Moche con relación al rendimiento y calidad de sus cultivos los cuales se han deteriorado notoriamente, donde luego de un previo análisis se logró identificar que el causante directo del problema son los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de agua potable pues la mayoría de los cultivos se han regado con este tipo de residuos haciendo que el desarrollo de los cultivos sea deficiente tanto en aspecto como en tamaño al igual que en la producción y calidad de sus frutos (Rivero & Bastias, 2010).

La legislación ambiental brasileña referente al lanzamiento de efluentes de estaciones de tratamiento de agua (ETA) en cuerpos de agua de superficie hace necesario implantar unidades capaces de tratar adecuadamente esos efluentes. De ese tratamiento resulta un lodo que es adensado, deshidratado

y encaminado a destino conveniente. Finalmente, en algunas ETA de pequeño tamaño, en las cuales la utilización de equipos mecánicos no es aconsejable, la falta de espacio para la construcción de sistemas naturales para el desagüe del lodo resultante ha conducido a la adopción de bolsas de geotextiles. En este estudio de caso se determinan las eficiencias de desagüe de los residuos de una ETA convencional que trata agua bruta de baja turbidez a lo largo de casi todo el año (Ambiente, 2009).

Evaluación de mantas sintéticas no tejidas en un sistema piloto de filtración lenta para el tratamiento de agua, grupo de investigación y mediciones ambientales GEMA el usos de mantas sintéticas en los sistemas de filtración lenta para la potabilización es una opción eficiente en sistema de abastecimientos rurales, fundamentada en el uso de materiales alternativos que en la actualidad no son muy conocidos, se evaluaron la eficiencia de remoción de contaminantes para el tratamiento del agua por medio de una manta sintéticas de filtración lenta, para esto se evaluaron 3 filtros lentos con o sin manta sintética como medio filtrante y se evaluó la remoción de turbiedad, color aparente materia orgánica y *echerichia coli*. Se encontró que el sistema de filtración que mejor se comporta es el que posee manta sintética superficialmente a una tasa de filtración de $6\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$ alcanzo remociones para turbiedad de 98%, color aparente 91% materia orgánica 72% Ecoli 99% (Sanín, 2013).

De acuerdo a un estudio dirigido por la Universidad del Cauca en convenio con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán, en el año 2017 se implementó el uso de geotextiles NT en el tratamiento del efluente de sedimentadores y filtros rápidos en la planta de tratamiento de agua potable El Tablazo, donde se tuvo en cuenta la velocidad de filtración y la cantidad de remoción de SST, obteniendo resultados de 88,3 al 99,8% de remoción de SST en el sedimentador, la remoción de SST en el efluente de los filtros rápidos fue de un 35 al 50%. (García y Fernández, 2017).

En el año 2017, se desarrolló un proyecto tras la problemática ambiental que se generaba por la falta de tratamiento de los lodos producidos por la PTAP de El Espinal (Tolima) y la falta de estudios que le permitieran determinar el potencial de aprovechamiento de los lodos, esta problemática estaba afectando directamente al río Magdalena, ya que los lodos eran conducidos por medio de una tubería que conectaba con el sistema de alcantarillado y posteriormente vertían al cauce de la quebrada “El Espinal”, la cual finalmente desemboca en el río Magdalena. Se logra determinar el potencial de aprovechamiento de los lodos residuales por medio de caracterizaciones

fisicoquímicas y microbiológicas en comparación con el Decreto 1287 del 2014. Lo que demostró que los lodos de la PTAP de El Espinal eran aptos para el aprovechamiento como insumo para materiales de construcción; esto debido a que se incurriría en menos costos asociados al transporte y construcción de infraestructura (Aldana y Pérez, 2017).

2.2 BASES TEORICAS

2.2.1 Planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Se conoce como planta o estación de tratamiento de agua potable (ETAP), es un conjunto de estructuras y sistemas de ingeniería en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano (EPM, 2010).

2.2.2 Sedimentadores. Dispositivo o estructura usado para separar, por gravedad, las partículas en suspensión en una masa de agua (EPM, 2010).

2.2.3 Lodos producidos por las plantas de tratamiento de agua potable. Están constituidos por sólidos suspendidos, provenientes de los desechos de los procesos de coagulación-floculación, sedimentación y el retro lavado de los filtros, generalmente estos sólidos suspendidos son del 75 al 90% de los sólidos totales y una cantidad de sólidos volátiles del 20 al 35% (Sandoval et al, s.f.), están formados por limos, arcillas y partículas de menor tamaño que las de la arena (Hernández, 2006); sin embargo, a estos componentes se debe añadir aquellos residuos que se generan en el proceso de tratamiento del agua, como lo son los óxidos hidratados de aluminio, junto con materiales de naturaleza orgánica e inorgánica (Martínez, 2012).

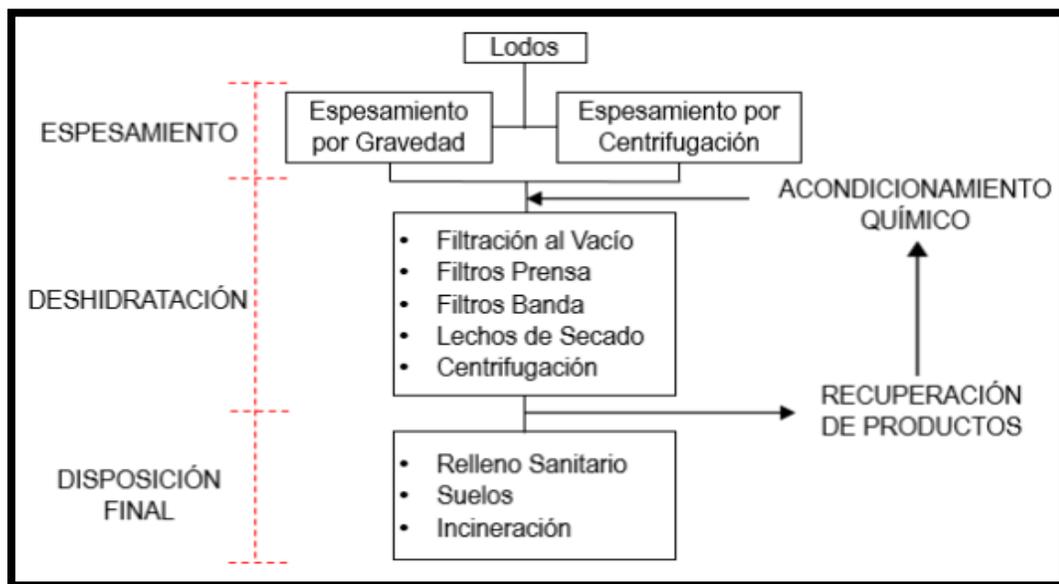
2.2.4 Efecto de los lodos en contacto con las fuentes hídricas. Dado que el principal coagulante usado para la potabilización del agua es el sulfato de aluminio, los lodos producidos por estas son ricos en aluminio, lo cual plantea un problema ambiental ya que dependiendo el pH de la fuente receptora puede aumentar la toxicidad del metal tanto en plantas como en peces, pues en un principio es difícil tener efectos tóxicos a pH neutros, mientras en aguas alcalinas

Ácidas sucede lo contrario (Florez, 2010). Por otra parte las altas concentraciones de sólidos suspendidos pueden afectar la biota acuática,

principalmente por la reducción de la penetración de la luz a través de la columna de agua dificultando la asimilación de energía por medio de la fotosíntesis, teniendo un impacto directo sobre la fauna acuática.

2.2.5 Tratamiento de lodos. Para que se lleve a cabo un tratamiento de lodos se debe tener en cuenta aspectos como la disponibilidad del terreno, la naturaleza del lodo, su facilidad para la deshidratación, así como también económicos (precio del terreno, mano de obra, energía, reactivos, costo de inversión, exigencias sanitarias, etc.); podrán variar las soluciones para el tratamiento de lodos, pero sus objetivos principales se mantienen: la reducción del volumen de dichos lodos y la obtención de las mejores características para disponerlos de forma tal, que no afecten los ecosistemas (Paredes, 2014).

Figura 1. Tratamiento de lodos



Fuente: Paredes, 2014.

2.2.6 Alternativas de tratamiento de lodo. Para los diferentes análisis se han de tomar en cuenta diferentes alternativas de manejo de lodos: el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), 2000, establece diferentes alternativas de manejo de lodos que faciliten su disposición final.

Cuadro 1. Alternativas para el manejo de lodos provenientes de las plantas de potabilización

Tratamientos	Características
Filtración al vacío	Después de la adición de polímeros y cuando se presenta una gran concentración de sólidos inertes debe implementarse la filtración al vacío que puede secar los lodos del coagulante hasta el 20% de sólidos.
Filtración a presión	Debe usarse cuando las características del lodo son difíciles de manejar ya que puede mantener los sólidos bajo presión por extensos períodos de tiempo hasta que la consistencia deseada sea alcanzada.
Lechos de secado	El uso de las camas de secado está limitada por el clima pero los rangos pueden variar de 1 a 20 por año, ésta tasa de utilización puede incrementarse con el uso de polímeros
Lagunas de deshidratación	Las lagunas de deshidratación son muy similares a los lechos de secado de arena, excepto en que operan a cargas iniciales mucho mayores, y además, tienen mayores tiempos de secado entre limpiezas.
Centrífugas	La centrifugación de lodos es básicamente un somero proceso de sedimentación mejorada por la aplicación de la fuerza centrífuga.

Fuente: Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), 2000

2.2.7 Deshidratación de lodos. Los lodos poseen en su composición un alto porcentaje en agua. Esto dificulta tanto su manipulación como su disposición, por lo que la manipulación de los lodos o fangos se convierte en un tema importante. Dependiendo de su porcentaje en agua, será necesario un tratamiento específico para cada momento, a continuación se puede observar una tabla en la que se recoge la forma que tiene el lodo según su composición de agua (Galvis y Rivera, 2013).

Tabla 1. Contenido de agua en los lodos

Contenido en agua (%)	Forma del lodo
10 – 15%	Pulverulento
35 – 40%	Sólido permanente
60 – 65%	Barro seco
65 – 75%	Plástico y gelatinoso
>85%	Líquido. Fácil de bombear

Fuente: Paredes, 2014

2.2.8 Duración de carrera. Se considera como el tiempo que le toma al filtro en alcanzar una diferencia de presión considerable (Avellaneda, 2016).

2.2.9 Pérdida de carga. La pérdida de carga en una tubería, se conoce como la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce (Avellaneda, 2016).

2.2.10 Geotextil NT 1600. Está hecho a base de fibras de grapa y se utilizan para separación y drenaje de suelos. Este producto combina la alta durabilidad con excelentes propiedades hidráulicas y físicas. Se fabrica con fibras de grapa del polipropileno y ofrecen alta durabilidad con altas velocidades de flujo de agua, proporcionando una extraordinaria contención de suelos. Se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen drenaje de subsuperficies y separación de caminos (González, 2015).

2.2.11 Función del Geotextil NT.

- **Filtración:** Retiene las partículas de grano fino al fluir el agua de la capa de grano fino a la capa de grano grueso (González, 2015).
- **Separación:** Separa dos capas de refuerzo: aumenta la capacidad portante (resistencia al corte) del suelo y la estabilidad en la construcción (González, 2015).

- **Protección:** Protege a membranas y otros productos relacionados contra ataques físicos (perforaciones y desgaste). Fácil manipulación, ahorro en costos, posibilitan a soluciones medioambientales (González, 2015).

2.2.12 Centrífuga. Es un instrumento que permiten someter a las muestras a intensas fuerzas que producen la sedimentación en poco tiempo de las partículas que tienen una densidad mayor que la del medio que las rodea.

2.2.13 Sólidos totales (ST). Se definen como la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103 – 105 °C. El valor de los sólidos totales incluye materias disueltas (sólidos disueltos totales: porción que pasa a través del filtro) y no disuelto (sólidos suspendidos totales: porción de sólidos totales retenidos por un filtro) (Instituto de Hidrología, 2010).

2.2.14 pH. Indica el grado de acidez o basicidad de una solución, éste se mide por la concentración del ion hidrogeno; los valores de pH están comprendidos en una escala de 0 a 14 el valor medio es 7.0 el cual corresponde a una solución neutra, los valores que se encuentran por debajo de 7 a soluciones ácidas y valores por encima de 7 corresponde a soluciones básicas o alcalinas (Salud, 2006).

2.2.15 Turbidez. Es el efecto óptico que se origina al dispersarse o interferirse el paso de los rayos de luz que atraviesan una muestra de agua, a causa de las partículas minerales u orgánicas que el líquido puede contener en forma de suspensión; tales como microorganismos, arcillas, precipitaciones de óxidos diversos, carbonato de calcio, compuestos de aluminio etc. (Salud, 2006).

2.3 BASES LEGALES

En la legislación ambiental encontraremos un marco normativo que define y guía los procesos que justifica la realización de la presente investigación. La Constitución Política de Colombia por su parte, en su artículo 80, establece la importancia de la protección de los recursos naturales y evitar el deterioro ambiental mediante herramientas de planificación. Para este fin diferentes leyes y decretos han sido formulados, caracterizando diferentes aspectos que

podrían contribuir a la generación de impactos ambientales. En el Cuadro 2 se presenta las normas y el objeto de cada una en orden jerárquico.

Cuadro 2. Marco normativo de lodos

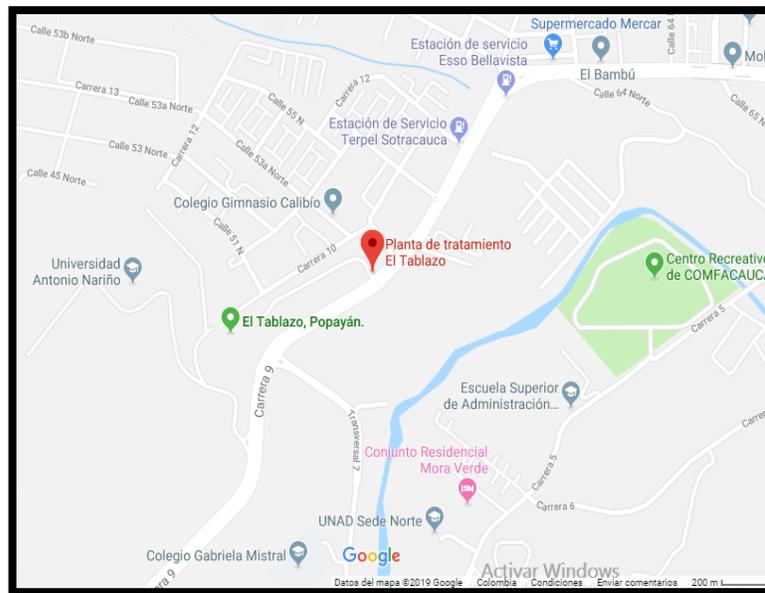
Norma	Objeto
Resolución 0330 de 2017	Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS (Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), 2000).
Decreto 1076 de 2015	Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible (Decreto, 2015).
Decreto 1287/2014	Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.
Decreto 1575 de 2007	Establece el sistema para la protección y control de la calidad de agua para consumo humano (Decreto, 2007).
Decreto 475 1998 (Derogado)	Donde se establece las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad de agua potable.
RAS – C	En el título C “Sistemas de potabilización”, en la sección 4 se describe el procedimiento para el manejo de lodos producidos en las PTAP” (Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, 2000).
RAS – I	En el título I “Componente ambiental y fichas técnicas de buenas prácticas para los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo” se establecen buenas prácticas para el manejo de lodos (RAS, 2000)
Ley 99 de 1993	Ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables, lo cual comprenderá el vertimiento, emisión o incorporación de sustancias o residuos líquidos, sólidos y gaseosos a las aguas en cualquiera de sus formas, al aire o a los suelos, así como los vertimientos o emisiones que puedan causar daño o poner en peligro el normal desarrollo sostenible de los recursos naturales renovables o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos (Mininterior, 1993).

Fuente: Propia

2.4 ZONA DE ESTUDIO

La Planta de Tratamiento De Agua Potable El Tablazo fue fundado en el año 1958 se encuentra ubicado en la zona norte de la ciudad de Popayán $2^{\circ}28'32''N$ $76^{\circ}34'51''W$. Tiene como principales fuentes de abastecimiento a los ríos Piedras, Pisojé y Cauca y trabaja por gravedad para la zona baja y para la zona norte de la ciudad mediante los sistemas de bombeo y rebombeo.

Figura 2. Ubicación de la planta de tratamiento de agua potable El Tablazo



Fuente: Google Maps

Figura 3. Planta de tratamiento de agua potable El Tablazo



Fuente: PTAP el Tablazo.

De acuerdo con el censo reportado en este año se abastecían 7.074 habitantes. Con el crecimiento demográfico de la ciudad de Popayán, la comunidad y el concejo municipal se vieron obligados a implementar nuevas tecnologías hidráulicas que permitieran la nueva construcción del acueducto.

En la actualidad el objeto social de la empresa va dirigido a la prestación del servicio público de acueducto y alcantarillado consistente en la distribución de agua potable, incluyendo actividades como captación, procesamiento, tratamiento y almacenamiento conducción y transporte del mismo. Para el vital funcionamiento de la empresa se encuentra estructurada como una organización dividida en tres grandes funciones: gerencia y apoyo, administrativa y financiera, técnica y operativa (Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., 2010)

2.4.1 Misión. La misión de la Sociedad Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. es la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado con calidad y mejoramiento ambiental en fuentes de abastecimiento y fuentes receptoras (Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., 2010).

2.4.2 Visión. Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. dirigirá sus acciones a consolidarse como un eficiente operador y prestador de servicios públicos domiciliarios y gestor de nuevos negocios (Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., 2010).

2.4.3 Objetivos

- Mejorar la calidad del agua potable superando los estándares mínimos establecidos en las normas vigentes.
- Mejorar la prestación de los servicios mediante el incremento de los ingresos y la efectividad en la aplicación de éstos.
- Fortalecer la competencia del personal de la empresa a través del cumplimiento del Plan Anual de Capacitación y la Certificación de las Competencias Laborales.
- Disminuir las quejas y reclamos mediante la atención oportuna de las necesidades y expectativas del cliente.
- Aumentar la continuidad del servicio de acueducto y alcantarillado a través de la optimización de redes y el mejoramiento de la infraestructura.
- Aumentar el número de usuarios de los servicios de acueducto y alcantarillado en las zonas de expansión donde técnicamente sean viables (Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., 2010).

2.4.4 Principios y valores institucionales.

- **Sensibilidad social.** Es tener conciencia de solidaridad y servicio, identificándonos con los problemas sociales y económicos de la comunidad, atendiendo sus necesidades para lograr una mejor calidad de vida.
- **Compromiso.** Actitud positiva y responsable para el logro de los objetivos, fines y metas de la organización en la cual cada persona aporta su máxima capacidad con gran sentido de pertenencia.

- **Liderazgo:** Capacidad de gestión organizacional para el logro de la excelencia en la prestación del servicio.
- **Respeto:** Capacidad de aceptar los diferentes criterios y actitudes dentro de la filosofía de la organización.
- **Calidad:** Resultado de una serie de procesos que llevan a un desarrollo oportuno y continuo de cada acción en la organización.
- **Ética:** Comportamiento regido por principios individuales basados en honestidad, lealtad y transparencia, que hace de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. una organización integral (Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., 2010).

2.4.5 Órganos de control, regulación y vigilancia. La función fiscalizadora y de los organismos encargados de realizarla, debe caracterizarse por su autonomía frente a las demás funciones, órganos y ramas del poder público, sin que ello implique que deje de colaborar armónicamente en la realización de los fines del Estado.

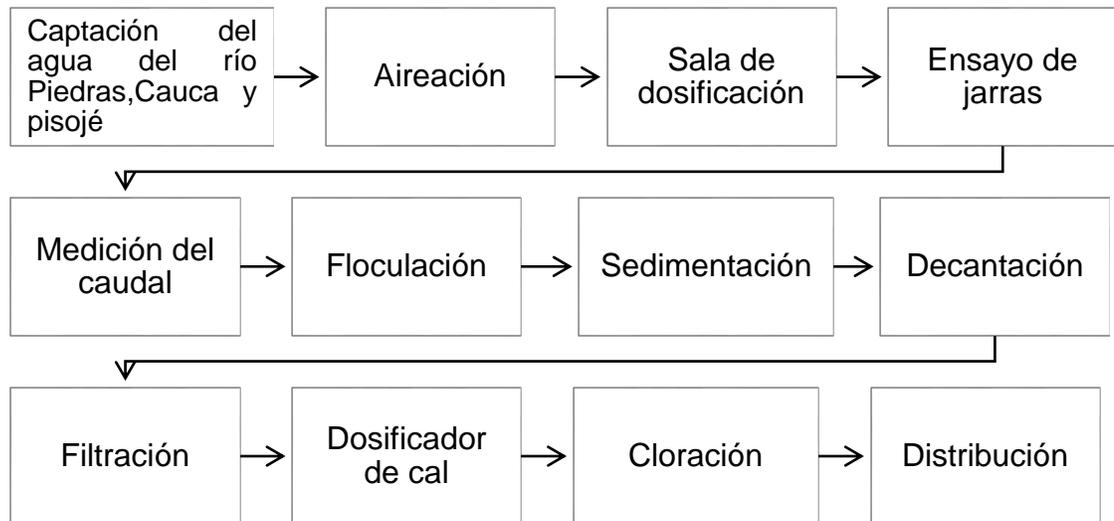
Además de las revisiones de inspección que realiza la Contraloría Municipal de Popayán, La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. se encuentra bajo la supervisión de:

- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA.
- La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Superservicios.
- División Control Interno.
- Revisoría Fiscal.
- Auditoría externa.

2.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PROCESOS DE LA PTAP EL TABLAZO

2.5.1 Procesos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable El Tablazo.

Figura 4. Procesos de la Planta de tratamiento de agua potable El Tablazo



Fuente: Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., 2010

Actualmente la planta de tratamiento está diseñada para trabajar con una caudal máximo de 1050 l/s, tiene como principal fuente de abastecimiento al río Cauca y al río Piedras, es de tipo convencional, los procesos que se realizan son aireación, coagulación (sulfato de aluminio), floculación, sedimentación, filtración, estabilización de pH y desinfección (Popayán-S.A.E.S.P, 2010).

2.5.2 Generalidades del sistema de abastecimiento. Empresa encargada. Las tres plantas de tratamiento (El Tablazo, Tulcán, Palacé) hacen parte de la empresa de acueducto y alcantarillado S.A. E.S.P., encargada de la prestación de servicio y el mejoramiento ambiental de las fuentes de abastecimiento (Popayán-S.A.E.S.P, 2010).

Figura 5. Logo del Acueducto y Alcantarillado de Popayán



Fuente: Acueducto y Alcantarillado de Popayán – S.A. E.S.P., 2010

2.5.3 Descripción de las unidades que comprenden el sistema de abastecimiento

- **Aireador.** El agua llega por un canal de 24”, el proceso consiste en la caída controlada de agua, sobre unas escaleras construidas bajo especificaciones, que permiten oxigenar el agua (Popayán-S.A.E.S.P, 2010).

El caudal de entrada es controlado por un medidor de sonido que envía la información y permite saber el volumen excedente o déficit que podría haber en la tubería (Popayán-S.A.E.S.P, 2010).

- **Sala de dosificación:** En este sitio se realiza la medición de la mayoría de los parámetros a determinar: cómo este ingresando el agua a la planta (turbiedad, DBO, conductividad, pH); de igual manera se realiza la aplicación de coagulante sulfato de aluminio tipo B el cual es apropiado para precipitar las partículas en suspensión dejando el agua transparente además de eliminar agentes contaminantes como color y turbiedad (Popayán-S.A.E.S.P, 2010).
- **Ensayo de jarras.** Se realiza con el fin de encontrar la dosificación adecuada del agente coagulante que se va agregar al agua en este caso, el sulfato de aluminio (Popayán-S.A.E.S.P, 2010).

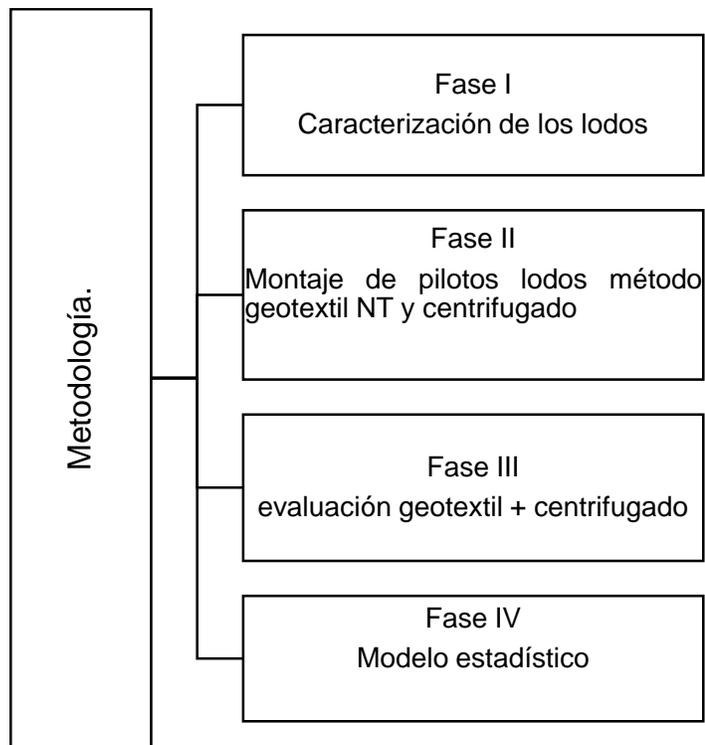
- **Método de la regleta.** Este método consiste en el uso de una regla certificada y aforada ubicada en el canal de paso al ingreso del volumen de agua a la planta (Popayán-S.A.E.S.P, 2010).
- **Floculación.** Durante este proceso el coagulante agregado (sulfato de aluminio) hace efecto en el agua formando flocs que no es más que el aglutinamiento de partículas contenidas en el agua que luego se decantan por su peso y se procede a la separación y purificación del líquido. La planta cuenta con 4 floculadores de aproximadamente 5m de profundidad, cada floculador tiene su sedimentador (Popayán-S.A.E.S.P, 2010).
- **Zonas de decantación.** Cuando el agua llegue a la primera zona de decantación debe tener un floc bien formado y deberá llegar a una velocidad muy baja, la función principal de esta zona de cambio de floculador a sedimentador es evitar que el agua pase a una velocidad alta ya que esto podría deshacer el floc o mezclar el floc sedimentado con el agua que ingresa.
- **Estructura de sedimentación.** La planta cuenta con cuatro (4) unidades de sedimentación acelerada, cada una constituida por dos (2) cámaras iguales de 8x38 m y una profundidad promedio útil de 3.85 m, la velocidad horizontal del agua es de 0.18 m/seg. El lavado de estas estructuras se realiza mensualmente, en primer lugar se cierra la válvula de entrada al sedimentador y luego se abre la válvula de desagüe vaciando todo el contenido de la estructura, mientras esto sucede el operador encargado va limpiado con agua a presión las placas y paredes del sedimentador y cuando el nivel del agua es más bajo empuja el lodo decantado en el fondo de toda la estructura hasta el desagüe, los tiempos en que esto se realiza y la cantidad del lodo evacuado dependen del criterio y laboriosidad del operador (Popayán-S.A.E.S.P, 2010).
- **Estructura de filtración.** Existen ocho (8) filtros rápidos a gravedad con lecho mixto de arena y antracita, con un área total de filtración de 363 m² y una tasa de filtración de 250 m³/m²/día (Popayán-S.A.E.S.P, 2010).
- **Dosificador de cal (carbonato de calcio).** El proceso de dosificación de cal tiene como objetivo aumentar la alcalinidad del agua, debido a que el coagulante la disminuyó considerablemente, registrando un nuevo pH.

- **Cloración.** La adición del cloro se realiza con el fin de desinfectar el agua, en un inicio el cloro está en estado gaseoso pero luego bajo una solución pasa a estado líquido para ello se usan unos medidores especiales que se encargan de controlar la solución y medirla en tambores, recipientes cilíndricos bajo estrictas especificaciones, que almacenan el cloro.
- **Tanques de contacto.** Finalmente el agua y los dosificadores de carbonato de calcio son conducidos por conductos hacia la zona de contacto ubicada en el sótano de la planta este lugar permite terminar de preparar el agua para su posterior consumo. Cabe destacar que el agua residual que produce la planta producto de la limpieza de las unidades también llega al tanque de almacenamiento pero en tuberías diferentes (Popayán-S.A.E.S.P, 2010).

CAPITULO III: METODOLOGÍA

Para el alcance de los objetivos planteados con relación a la reducción de lodos generados en la PTAP El Tablazo, se estableció la siguiente metodología, la cual está dividida en 4 fases. A continuación se presenta la distribución de las fases.

Figura 6. Fases de la metodología



Fuente: elaboración propia

3.1 FASE I: CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS

3.1.1 Recopilación y análisis de información. El trabajo se realizó en la Planta de Tratamiento de Agua Potable el Tablazo, se visitó la planta durante un periodo de 4 meses comprendidos entre agosto, septiembre, octubre y noviembre, con el objetivo de conocer la operación, estructuras y extraer las muestras de lodo y de esta manera realizar las correspondientes pruebas para luego realizar la aplicación de los dos métodos a tratar. Fue necesario la búsqueda de artículos e investigaciones relacionados al tema, lo cual permitió que se tuviera más confiabilidad y precisión en los resultados.

3.1.2 Diagnóstico inicial. Se realizó una visita técnica a la PTAP el Tablazo, con el fin de levantar un diagnóstico inicial, donde se analizó los flujos de entrada y salida de la planta teniendo en cuenta los ST entrada y salida tal cual como se describe en el Tabla 2.

Tabla 2. Recopilación de datos.

Unidad De Tratamiento	Caudal de entrada (m ³ /s)	Entrada Sólidos Totales (mg/l)	Salida Sólidos Totales (mg/l)	% Remoción
Sedimentador				

Fuente: elaboración propia

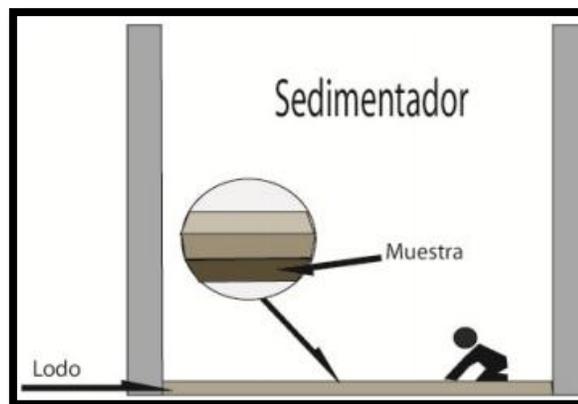
3.1.3 Puntos de muestreo. La recolección de las muestras fue de carácter puntual, con ubicación aleatoria del sitio de captura, recolectando la misma en el perfil inferior del lodo sedimentado. Para esto, se procuró que la programación de los muestreos, correspondiera al día de lavado de los sedimentadores, de modo que se posibilitara la obtención de una muestra representativa. Para realizar el muestreo se extrajo la muestra compuesta del fondo de cada uno de los 4 sedimentadores, los cuales fueron depositados en bolsas siploc, previamente selladas y posteriormente llevadas a una nevera de icopor para conservar su T°, luego se transportaron las muestras hacia el laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

Durante el periodo del muestreo se tuvo en cuenta las condiciones climáticas, ya que en el mes de agosto no se presentaron precipitaciones por lo que no se aplica la misma dosis de coagulante que en meses lluviosos, debido a que el agua no presenta un alto grado de turbidez, es el caso contrario de los

meses septiembre y octubre ya que en ellos se presentaron mayores precipitaciones lo que ocasionó que el agua llegara con mayor presencia de contaminantes siendo necesaria que se aplique la dosis de coagulante.

Cabe mencionar que para obtener la muestra, se tuvo en cuenta elementos de aseo como guantes, tapabocas, bata y medidas de higiene para no alterar los resultados de las muestras, y reducir el riesgo por contacto directo con el lodo.

Figura 7. Toma de la muestra del lodo



Fuente: elaboración propia

3.1.4 Medición de caudal. Para la determinación de caudal de entrada se tomó la altura de la lámina de agua en la entrada del canal donde posteriormente se aplicó la ecuación de patronamiento.

$$\text{Ecuación 2} \quad Q = KH^m$$

Donde:

Q: caudal.

K: constante de calibración.

H: carga hidráulica con relación a la cresta del vertedor.

m: exponente.

3.1.5 Medición de Sólidos Totales (ST). Se tomó muestras compuestas en el fondo de los 4 sedimentadores, con el fin de determinar la cantidad de sólidos totales (ST), estas muestras fueron posteriormente analizadas en el laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, aplicando la metodología suministrada por el IDEAM. La determinación de sólidos totales se realizó por diferencia de pesos de manera indirecta (Ecuación 1). Se secaron 30 ml de cada muestra en crisoles de porcelana previamente secados y pesados en el horno a 105°C registrando su peso al final, posteriormente se sometieron las muestras a calcinación en la mufla a 105°C durante 2 horas, después de dejar reposar las muestras se depositaron dentro del desecador hasta que alcanzaron temperatura ambiente y se pesaron de nuevo.

Ecuación 1

$$ST = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

Donde:

ST: Sólidos Totales, en mg/L

A: Peso final de la cápsula con el residuo seco, en gramos.

B: Peso inicial de la cápsula tarada en gramos.

V: Volumen de muestra desecada, en litros.

Figura 10. Muestra de solidos totales (ST)



Fuente: elaboración propia

3.1.6 Análisis fisicoquímico. Para realizar y tener un buen manejo de las muestras, se tuvo en cuenta el manual de aguas y la norma NTC- 5667. Se procedió a homogenizar cada una de las muestras, para posteriormente realizar las pruebas fisicoquímicas presentes en el cuadro 3.

Cuadro 3. Análisis fisicoquímico

Parámetro	Instrumento	Finalidad
pH	pH-metro (Mettler Toledo)	La medición de este parámetro se realiza con la muestra en un Beaker de 50 ml homogenizada, tomado su valor con el pH metro (Mettler Toledo) donde se realizó su medición.
Turbidez	Turbidimetro (HACH)	Para el análisis de la turbiedad se vio la necesidad de diluir 10ml de la muestra homogenizada a la cual se le agrego 50mL de agua destilada ya que en la muestra inicial representaba un rango superado y por ende impedía que se midiera la turbiedad, luego se la deposito en una de las celdas para su posterior análisis
% Humedad	Gravimétrico	Se tomó 25ml de la muestra la cual es llevada a un crisol que ha sido previamente pesado, inmediatamente fue llevada a la mufla donde fue sometido a un T° de 105° durante dos horas, luego el crisol es llevado al desecador con el fin de llegar a una T° ambiente y luego llevarla a una balanza analítica, una vez realizado este proceso se aplica la diferencia de peso para obtener dicho porcentaje.

Fuente: elaboración propia

3.2 FASE II: MONTAJE DE PILOTOS LODOS MÉTODO GEOTEXTIL NT Y CENTRIFUGADO

Se adoptó la metodología realizada por García y Fernández (2017).

3.2.1 Caracterización del geotextil. El geotextil que se utilizó es el NT 1600 de Pavco, el cual ha sido probado en estudios anteriores, obteniendo buenos resultados, las características generales del geotextil se muestran en la Tabla 3.

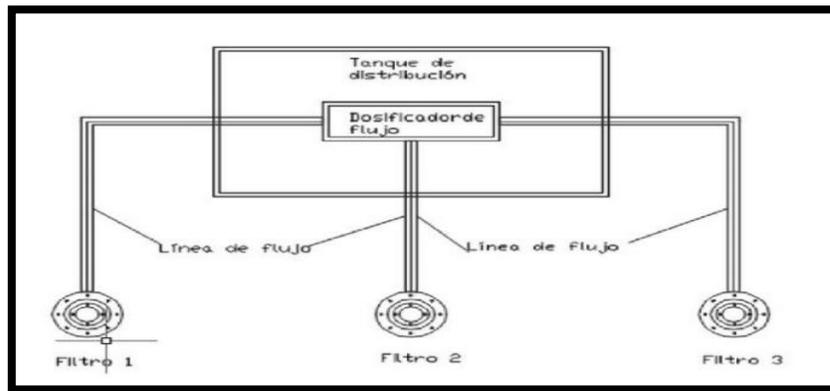
Tabla 3. Características del Geotextil NT

Marca	Referencia	Apertura aparente (mm)	Espesor (mm)	Permisividad (1/s)	Permeabilidad
PAVCO	NT 1600	0,18	1,50	2,90	0,44

Fuente: García y Fernández, 2017

3.2.2 Dimensionamiento de los filtros. Los filtros poseen un diámetro de 14 cm y una altura total de 50 cm, están acondicionados de tal forma que se pueden disponer en cada uno de ellos una velocidad de filtración a experimentar. Las velocidades que se consideraron son: 2, 3 y 4 m/h, estas velocidades fueron reguladas ajustando el caudal de entrada al filtro por medio de un dosificador de cabeza constante el cual está ubicado en el tanque de distribución, suministrando los siguientes caudales: 513.13, 769.69 y 1026.25 ml/min; los cuales son equivalentes para cada velocidad respectivamente (García y Fernández, 2017).

Figura 11. Esquema general del sistema experimental



Fuente: García y Fernández, 2017

3.2.3 Implementación del geotextil NT. Se contó con un sistema que está compuesto por 1 filtro en PVC de flujo descendente un tanque de distribución con mezclador y un dosificador de cabeza constante por medio de este se encontró la velocidad de filtración. Al filtro se le adaptó 3 capas de Geotextil NT 1600, el cual va situado en el centro del filtro, para mantenerla en esta posición se vio la necesidad de ubicar una malla mosquitera cuya función fue de sostenerlo, esta fue previamente adherida en los bordes del filtro (García y Fernández, 2017).

El lodo extraído del sedimentador fue tratado de manera independiente, la muestra fue tomada desde el fondo de la estructura, siendo ésta una muestra compuesta de aproximadamente 100 litros fueron tomadas para ser distribuida a las unidades de filtración.

La muestra que fue depositada en el tanque fue aireada y mezclada para reducir la sedimentación, utilizando para ello un aireador de pecera. Las pruebas se realizaron con un volumen de 25 litros aproximadamente, se tomaron para ser introducidos al tanque de distribución de cabeza constante el cual suministrará un total de 2309,07 ml/min a los filtros durante toda la toma de datos. Cada vez que el nivel del agua en el tanque de distribución bajaba a la altura mínima de funcionamiento, se subirá el nivel introduciendo el lodo almacenado.

Figura 12. Filtro con Geotextil y piezómetros



Fuente: elaboración propia

Figura 13. Montaje Tanque con aireador de pecera y filtro con geotextil



Fuente: elaboración propia

3.2.4 Medición de remoción de lodos. Para medir la remoción de lodos, se midió la cantidad de sólidos totales ST en el agua de entrada y salida de cada filtro, la cual fue monitoreada mediante una muestra compuesta durante toda la duración de carrera. Una vez obtenidas las muestras compuestas se determinaron los sólidos totales ST y pH. Estas pruebas se realizaron con base a los protocolos de la ALPHA, y del IDEAM.

3.2.5 Pérdida de carga. Se incluyó en el filtro dos piezómetros que permitió la medición de la pérdida de carga en el medio filtrante. La duración de carrera, tal como se definió previamente, se considera como el tiempo que le toma al filtro en alcanzar una pérdida de carga que para el desarrollo de esta investigación fue de 20 cm, se debe evitar la formación de burbujas dentro del medio filtrante para no alterar los resultados de la medición de pérdida de carga

El tiempo de duración de carrera se estimó desde el instante en que empezó a salir el agua filtrada, el cual se estipuló en 3, 5 y 8 minutos para las velocidades de 2, 3 y 4 m/H respectivamente, siempre y cuando se considere un suministro constante y homogenizado proveniente del dosificador. La medición de la pérdida de carga se realizó cada 10 minutos hasta que el Geotextil NT 1600 alcance el 80% de saturación (aproximadamente 16 cm de pérdida de carga), a partir de éste se redujo el intervalo de medida cada 5 minutos durante el resto de la duración de carrera. Se llevó un control riguroso del caudal cada 30 minutos para satisfacer lo planteado con anterioridad.

3.2.6 Centrifugación de lodos. Se tomó una muestra de 50 ml la cual fue homogenizada y posteriormente llevada a 4 tubos, en cada uno se depositaron 10 ml de la muestra y desde el min 1-5 se tomó registro del volumen de cada una. Pasados los 5 min de centrifugación, se procedió a comprobar en qué minuto la centrífuga muestra mayor eficiencia de deshidratación

Los minutos considerados fueron de 1 a 5, donde en cada minuto fue evaluado los ml de lodo vs los ml de agua y la turbidez.

Se utilizó la centrífuga de laboratorio denominada Thermo Fisher SCIENTIFIC la cual tiene 1700RPM. Este equipo se utiliza para la separación de sólidos en sustancias o mezclas con una densidad de máximo 1200 kg/m³. En el proceso de centrifugación se debe tener en cuenta las instrucciones de manejo encontradas en el manual.

Figura 14. Centrífuga Thermo Fisher Scientific



Fuente: elaboración propia.

3.2.7 Acondicionamiento del lodo. Con el fin de obtener una mejor deshidratación y reducir los tiempos en la centrífuga se procede a aplicar los 6 tipos de polímero a la muestra (SUPERFLOC A 100, A 130, C496, C492, C494), teniendo en cuenta la metodología proporcionada por la guía técnica (Kemira, 2015).

3.3 FASE III: EVALUACIÓN GEOTEXTIL NT + CENTRIFUGADO

3.3.1 Centrifugación de lodos filtrados por el Geotextil NT. Luego de realizar la prueba con el método de Geotextil se toma una muestra de 50 ml del agua filtrada, los cuales son distribuidos en 4 tubos cada uno con 10 ml. Posteriormente son llevados a la centrífuga en un tiempo que oscila de 1 a 5 min donde se pudo determinar la velocidad en la que hubo mayor porcentaje de deshidratación. Para ello se aplica la ecuación de porcentaje de remoción.

Ecuación 3

$$pi = \frac{pi - pf}{pi} \times 100$$

Donde:

pi=Peso inicial de la muestra.

pf= Peso final de la muestra.

3.4 FASE IV: MODELO ESTADÍSTICO

3.4.1 Aplicación del método estadístico. Para determinar la eficiencia de cómo actúan conjuntamente los métodos, se aplicó el método estadístico hipótesis para dos medias, comparación de dos tratamientos, donde se supone comparar dos tratamientos los cuales realizan la misma operación asignando muestras aleatorias de observaciones de cada proceso (Gutierrez & Salazar).

Suposición de varianzas desconocidas. Sean dos procesos o tratamientos con medias m_x y m_y y varianzas s^2_x y s^2_y , respectivamente. Interesa investigar si las medias de dichos procesos pueden considerarse estadísticamente iguales. Para ello se plantean las siguientes hipótesis:

Ecuación 4

$$H_0 : m_x - m_y = 0$$

$$H_A : m_x - m_y \neq 0$$

Para probar H_0 se toman dos muestras aleatorias, como en el ejemplo de las máquinas antes descritas, de tamaño n_x la del proceso X, y de tamaño n_y la del proceso Y; en general, es recomendable que $n_x = n_y = n$, pero también puede trabajarse con $n_x \neq n_y$ si no pudieran tomarse iguales. Si cada proceso sigue una distribución normal y son independientes entre ellos, el estadístico de prueba adecuado para probar la hipótesis de igualdad de medias está dado por

Ecuación 5

$$t_0 = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}}}$$

El cual sigue una distribución T de Student con $n_x + n_y - 2$ grados de libertad, donde S_p^2 es un estimador de la varianza muestral común, suponiendo que dichas varianzas desconocidas sean iguales, y se calcula como

$$S_p^2 = \frac{(n_x - 1)S_x^2 + (n_y - 1)S_y^2}{n_x + n_y - 2}$$

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS

Las características de los lodos residuales varían generalmente con la calidad del agua cruda tratada, origen, tecnología de tratamiento, tipo y cantidad de elementos químicos empleados. Los lodos de los sedimentadores de la planta El Tablazo están compuestos por los precipitados de aluminio (aplicación de sulfato de aluminio como coagulante), material orgánico e inorgánico removido, es posible que gran parte de los sólidos arrastrados provenientes del río Cauca traiga consigo arenas y arcillas (aluminosilicatos), mineral que finalmente queda retenido en los lodos residuales. Normalmente estos lodos contenidos en el agua coagulada son estables, no se descomponen rápido ni causan problemas de vectores (Torres, 2013).

Tabla 4. Características iniciales del lodo

Parámetros Físicoquímicos	Valor	Unidad	Instrumento
pH	6,8		pH metro
Turbidez	858	NTU	Turbidímetro
Sólidos totales	8346	mg/l	Protocolo ALPHA, IDEAM
Humedad	97	%	Diferencia de peso
Densidad*	1,17	Kg/l	Gravimétrico.
Aluminio*	600	mg/l	

Fuente: elaboración propia

*Datos obtenidos del estudio realizado por (Lopez, 2012)

En cuanto a los parámetros físicoquímicos descritos en la Tabla 4, se puede inferir que la presencia del ion Aluminio en los lodos, se debe a que viene presente en el agente coagulante, se queda disuelto en el lodo, parámetro que se debe tener en cuenta al momento de sugerir una disposición del lodo como elemento para la recuperación de suelos, pues el Aluminio es un agente generador de erosión (Sanchez, 2016).

Con respecto a la densidad se puede afirmar que este lodo tiene una composición del 95% de agua debido a que el valor encontrado es superior a

1, mientras que el 5% restante físicamente se encuentra constituido por arena fina, arcillas y limos.

Es importante mencionar que los valores máximos de turbidez y sólidos totales no son necesariamente permanentes o estables, los que se pueden presentar en ciertos periodos debido a las condiciones climáticas río arriba, que por efecto de escorrentía se presenta el arrastre de material particulado insolubles, generando el incremento de este parámetros, caso contrario en la épocas de bajas lluvia donde la velocidad del afluente disminuye favoreciendo la sedimentación de los sólidos.

En relación con la normatividad colombiana encontramos que el decreto 3930 de octubre de 2010 el Art. 25 indica “Actividades No Permitidas. No se permite el desarrollo de las siguientes actividades: Disponer en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, y sistemas de alcantarillado, los sedimentos, lodos, y sustancias sólidas, provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de control ambiental y otras tales como cenizas, cachaza y bagazo. Para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos”. Sin embargo este no establece los valores estándares para identificar los valores permisibles por lo que no fue posible realizar una comparación con los datos obtenidos de la caracterización de los lodos de la PTAP el Tablazo, de acuerdo con esto, se puede afirmar que la cantidad de los lodos no se puede asegurar que esta empresa este incumpliendo la norma. Sin embargo por parte de la autoridad regional, se tiene permiso de verter estos al Río Cauca debido a que no garantiza un impacto palpable, sin embargo la empresa sigue en la búsqueda de alternativas que permita el tratamiento, uso o disposición adecuada de este tipo de residuo.

Tabla 5. Recopilación de datos

Unidad De Tratamiento	Caudal de entrada (l/s)	Entrada sólidos Totales (mg/l)	Caudal de salidas (l/s)	Salida sólidos Totales (mg/l)	% Remoción
Sedimentador	672,08	10763	569,5	1815	87%

Fuente: elaboración propia

Para la determinación del caudal de entrada, se utilizó la ecuación de patronamiento (Ecuación 2) para un vertedero rectangular, teniendo en cuenta la altura de la lámina de agua ubicada en la entrada del vertedero.

Con respecto a la Tabla 5, se puede apreciar el balance de masa de entrada y salida de Sólidos Totales ST de la planta, con el cual se logra deducir que entre el 65 y 85% de los lodos quedan retenidos en este tipo de estructuras como los sedimentadores, debido a que en ellas ocurre el proceso de separación de sólidos ya que por sus características éstos son susceptibles a sedimentarse y se separan del líquido por acción de la gravedad. El alto porcentaje de la eficiencia de remoción es debido a que características como la densidad del lodo permite que haya una mejor eficiencia ya que las partículas se aglomeran fácilmente haciendo que estas desciendan con mayor rapidez al fondo del sedimentador (Toro, 2013).

4.2 MÉTODO GEOTEXTIL NT 1600 Y CENTRIFUGADO

Se establecen los valores iniciales de la turbiedad con el fin de identificar el tratamiento adecuado para lograr una efectiva remoción, mediante la aplicación de Geotextil NT 1600 y centrifuga.

Tabla 6. Porcentaje de remoción de la turbiedad (UNT) del efluente de lavado del sedimentador, mediante el uso del Geotextil (NT 1600) a diferentes velocidades

Replica	Filtro	Q. Prom. ml/min	Vel. $\frac{(m)}{h}$	Turbiedad afluente (NTU)	Tiempo (min)	Turbiedad Efluente	Eficiencia de remoción %
1	1	511,23	2	3670	5	501	86,3
					7	587	84
					10	677	81,5
	2	769,69	3		5	549	85,1
					7	614	83,3
					10	705	80,8
	3	1026,2 5	4		5	569	84,5
					7	647	82,4
					10	725	80,2
2	1	511,23	2	3970	5	221	93,9

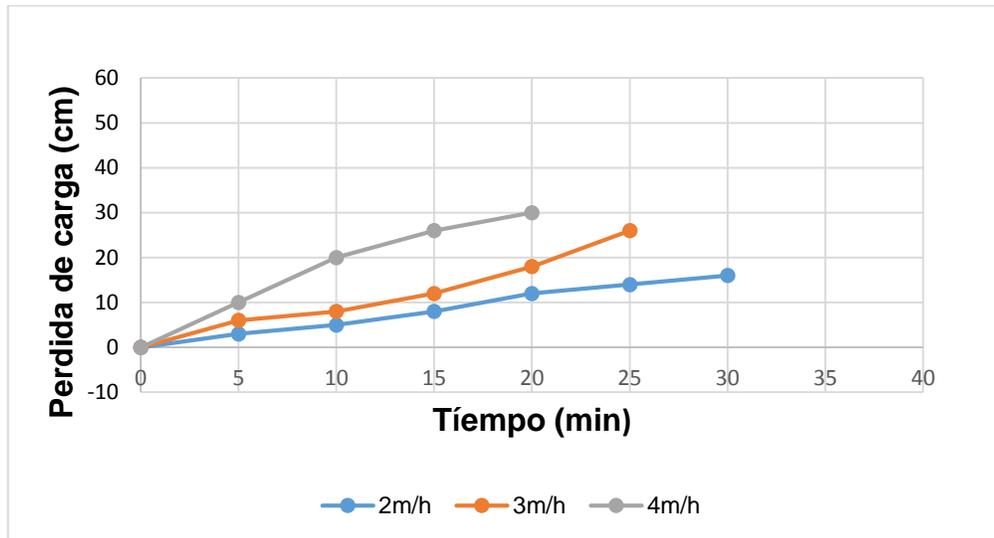
Replica	Filtro	Q. Prom. ml/min	Vel. $\frac{(m)}{h}$	Turbiedad afluente (NTU)	Tiempo (min)	Turbiedad Efluente	Eficiencia de remoción %
	2	769,69	3		7	296	91,9
					10	453	87,6
					5	339	90,7
					7	385	89,5
	3	1026,25	4		10	587	84
					5	415	88,6
					7	479	86,9
					10	574	84,4
3	1	511,23	2	4155	5	137	96,3
					7	209	94,3
					10	447	87,8
	2	769,69	3		5	245	93,3
					7	286	92,2
					10	342	90,6
	3	1026,25	4		5	367	90
					7	417	88,6
					10	524	85,7

Fuente: elaboración propia

Como se puede apreciar en la Tabla 6 la eficiencia del Geotextil NT 1600 en cuanto a remoción de turbidez, durante la velocidad de filtración de 2m/h tuvo un alcance que oscilo el rango del 81,5 al 96,3%, siendo esta velocidad considerada como la óptima ya que la porosidad del Geotextil NT 1600 no se ve afectada por la velocidad con la que pasa el caudal, el paso de este es más lento aumentando la eficiencia de retención de partículas (Pabon & Rodriguez, 2015).

En comparación con las velocidades 3 y 4 m/h la turbiedad en el efluente filtrado se incrementa con el tiempo, tal como se presenta en la Gráfica 1. Esto indica que el Geotextil se satura muy rápidamente con la llegada de los sólidos y se inicia un progresivo traspase del lodo o desprendimiento del mismo que genera este tipo de incremento. Además, se puede deducir que el uso de los geotextiles podría verse limitado por la duración de carrera, medida en términos de calidad.

Gráfica 1. Pérdida de carga en función del tiempo



Fuente: elaboración propia

En la Gráfica 1 se describe el comportamiento de la pérdida de carga para cada velocidad de filtración. Se refleja la dependencia que tiene la pérdida de carga con el tiempo de trabajo, cuanto menor es la velocidad de filtración se tarda más en lograr la pérdida de carga, debido a que éste reduce la fricción sobre el Geotextil haciendo que se tarde más tiempo en saturarse (Castro & Lopez); se considera como algo razonable ya que las mayores pérdidas de energías se deben a la rápida saturación del Geotextil y resistencia al flujo por el lodo acumulado en éste.

Se presenta un comportamiento de la variación de la diferencia de cargas (variación de presión), muestra una relación directamente proporcional pues entre menor sea el paso de caudal por el Geotextil se tendrá menor pérdida de carga, en el caso contrario a mayor paso de caudal por el Geotextil se tendrá mayor pérdida de carga.

4.2.1 Análisis de velocidad

Se estipula que el valor de pérdida de carga es de 20 cm para todas las velocidades a experimentar, donde la duración de carrera máxima para la velocidad de filtración de 2m/h, tardo 20 min en alcanzar esta pérdida de carga la cual se considera como la más prolongada en comparación de las velocidades 3 y 4 quienes alcanzaron esta perdida en los min 10 y 12

respectivamente. Según la Ley de Darcy encontramos que la pérdida de carga sucede debido a la fricción a lo largo de la tubería del filtro donde a mayor velocidad se genera mayor pérdida de carga en función del tiempo como se puede constatar en las velocidades 3 y 4.

Tabla 7. Porcentaje de remoción de Sólidos Totales (ST) con el tratamiento de Geotextil NT 1600. En los meses Agosto y Septiembre (Periodo Seco)

Réplica	ST Afluente (mg/L)	Velocidad m/s	ST Efluente mg/l	Eficiencia %
1	7821	2	431	94,5
2	8325		467	94,4
3	7512		241	96,5
1	7821	3	743	90,5
2	8325		985	88,2
3	7512		821	89,1
1	7821	4	1187	84,8
2	8325		1413	83,1
3	7512		1158	84,6

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Porcentaje de remoción de Sólidos Totales (ST) con el tratamiento de Geotextil NT 1600. En los meses Octubre y Noviembre (Perido Lluvioso)

Réplica	ST Afluente (mg/L)	Velocidad m/s	ST Efluente mg/l	Eficiencia %
1	11475	2	1956	82,4
2	10954		2028	81,5
3	10898		1828	83,2
1	10865	3	2525	76,8
2	10954		2471	77,4
3	9923		2641	73,4
1	9765	4	2787	71,4
2	9812		2914	70,3
3	9734		2878	70,5

Fuente: elaboración propia

Es importante mencionar que la toma de muestra se realizó entre los meses (Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre), en los dos primeros meses fue un periodo de bajas lluvias por lo que la cantidad de sulfato es baja en comparación a los dos últimos meses debido a que la cantidad de sólidos que contiene no es apreciable por tanto no hay necesidad de utilizar la misma cantidad de coagulante; además en esta época el nivel del río disminuye considerablemente debido a que es un periodo de bajas lluvias.

Caso contrario sucede en los meses de Octubre y Noviembre donde se produjo un periodo lluvioso lo cual incrementa el nivel del río, haciendo que la cantidad de sólidos aumente, por lo que es necesario retirarlos en el proceso de potabilización, por esta razón la cantidad de sulfato adicionado en el proceso es mayor respecto a otras épocas del año.

Con relación a los Sólidos Totales ST, se evidencia un incremento significativo de la concentración de este parámetro en los lodos, debido a que este compuesto es acumulativo y se manejaron una gran cantidad de sólidos removidos durante un largo periodo de tiempo.

Como se pudo evidenciar en la Tabla 7 y en la Tabla 8, los porcentajes de remoción oscilaron entre el (83,1-96,5 y 70,3-83,2 %) de acuerdo con esto hacemos énfasis en la relación que se tiene con el estudio realizado por (Escobar & Peña, 2010), ya que la remoción que tuvieron por parte de la implementación del Geotextil para la remoción de sólidos totales, en efluentes de piscifactorías de trucha fue similar, teniendo un porcentaje de remoción de 88,3 al 99,8%.

En el proceso de Geotextil se manejaron velocidades de filtración 2, 3, 4 m/s con el fin de identificar en cuál de estas había una mejor filtración y una eficiente remoción de Sólidos Totales, encontrando que en la velocidad 2 m/h se alcanzó mejor eficiencia debido a que no se produjo una obstrucción rápida del Geotextil y de esta manera mejorando la eficiencia de remoción, y siendo acorde a la remociones de turbiedad donde la mayor eficiencia se ganó con esta misma velocidad.

Estudios realizados por Pabón y Rodríguez, en el que hicieron una caracterización de las partículas del lodo, encontraron que el tamaño va desde los 0,014 a 0,25mm, mientras que el geotextil según sus características de configuración presenta un tamaño de abertura de 0,16 mm favoreciendo que

las partículas más grandes puedan ser retenidas por el mecanismo de colado ayudando a la formación de una torta inicial.

Figura 15. Saturación de lodos en el Geotextil



Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

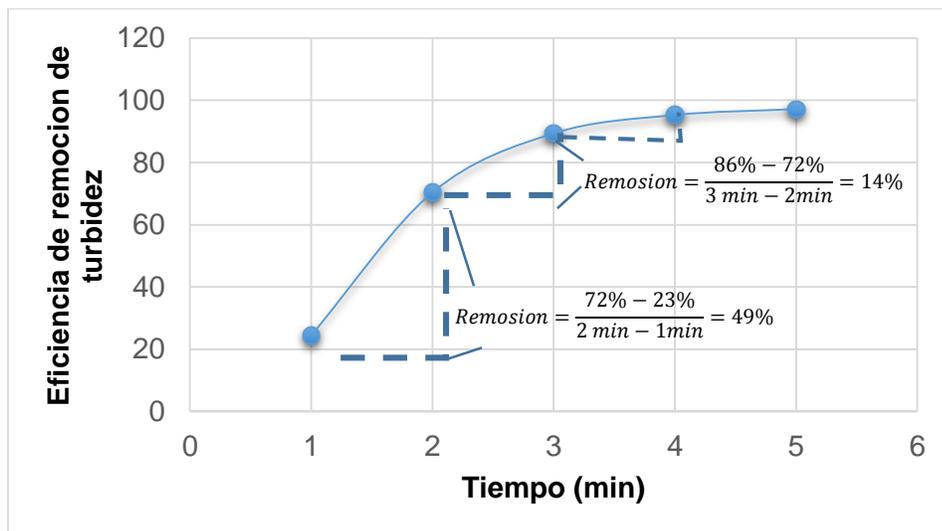
Tabla 9. Porcentaje de remoción de Turbidez, implementando la centrifuga

Muestra 1700 RPM	Tiempo de rotación min	Lodo ml inicial	Agua inicial ml	Turb. NTU	Lod. final	Agua final ml	Turb. NTU	Eficiencia de remoción%
En blanco	1	0	10	1,35	0	10	1,35	
Centrífuga		6	4	3290	2	8	2486	24,4
Réplica		7	3		5	5	2456	25,3
Geo + centrífuga		7	3		0,2	9,8	1817	44,8
Replica		7	3		0,10	9,9	1813	44,9
En blanco	2	0	10	1,35	0	100	1,35	
Centrífuga		8	2	3290	2	8	965	70,4
Réplica		8	2		1	9	965	70,4
Geo + centrífuga		6	4		0,02	9,98	474	85,6
Réplica		6	4		0,07	9,93	478	85,5
En blanco	3	0	10		1,35	0	100	1,35
Centrífuga		7	3	3290	0,8	9,2	341	89,6
Réplica		7	3		0,8	9,2	345	89,5
Geo + centrífuga		5	5		0,02	9,98	82	97,5
Réplica		5	5		0,02	9,98	91	97,2
En blanco	4	0	10		1,35	0	100	1,35
Centrífuga		6	4	3290	0,8	9,2	134	95,9
Réplica		6	4		0,7	9,3	117	96,4
Geo + Centrífuga		4	6		0,10	9,9	176	94,6
Réplica		4	6		0,10	9,9	192	94,2
En blanco	5	0	10		1,35	0	100	1,35
Centrífuga		6	4	3290	0,20	9,80	85	97,4
Réplica		6	4		0,40	9,60	97	97,1
Geo + Centrífuga		4	6		0	10	341	89,6
Réplica		4	6		0	10	351	89,3

Fuente: elaboración propia

Dentro de los resultados que se encuentran en la Tabla 8, es de vital importancia resaltar cómo la turbidez inicia con un valor de 3290 NTU y cuando es llevada a la centrífuga éste reduce a 474 NTU un promedio del 85%, esto se debe a la fuerza que ella ejerce sobre las partículas, lo que permite que se generen dos capas donde la primera se distingue como la parte sólida y la de sedimentos la cual se compacta al inferior del tubo y la segunda capa es considerada como la parte deshidratada la cual se presenta en forma líquida con menos contenido de sedimentos y partículas por lo que el agua presenta menor turbidez.

Gráfica 2. Eficiencia de remoción de turbidez en función del tiempo con el tratamiento de centrifugado



Fuente: elaboración propia

En cada uno de los minutos que se manejaron en la centrífuga se presentó variaciones de resultados como se muestra en la Gráfica 2, en el min 1 se observa que la centrífuga no compacta los sólidos y por tal motivo la eficiencia es mínima ya que no sobrepasa del 50%, es el caso contrario de los min 2, 3, 4 y 5 que mostraron una diferencia notoria en los porcentajes de remoción superando el 70%. Haciendo referencia en los min 3, 4 y 5 pese a que tuvieron porcentajes de remoción altos, pero su aumento fue del 14% en el periodo de 2 a 3, en efecto se determinó que no se debía seguir prolongando el tiempo ya que el aumento de remoción iba hacer mínimo y debido a que es un sistema mecánico de consumo de energía eléctrica este tendría mayor efectividad entre el 1 min y los 2 min, como se muestra en la figura

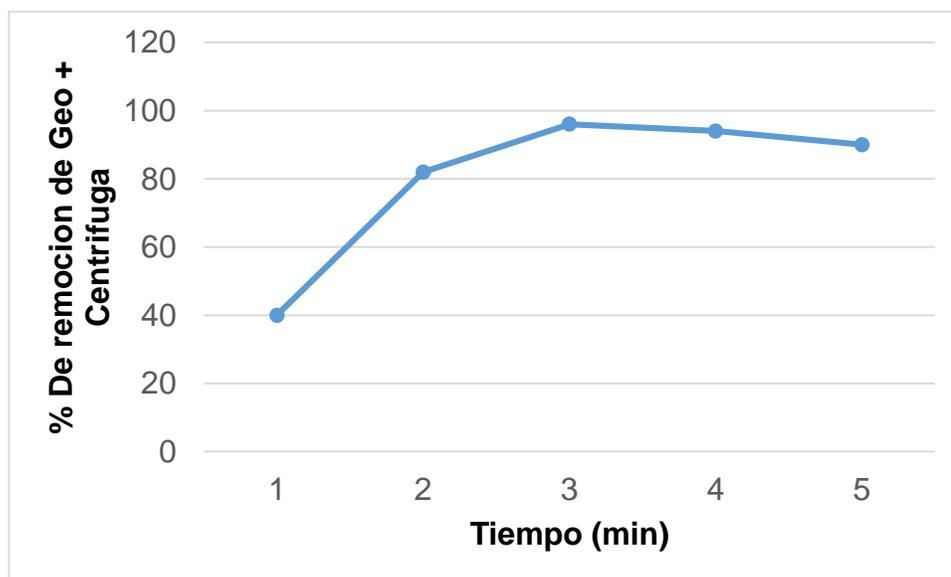
De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede constatar el cumplimiento de la Ley de Stokes ya que durante el movimiento rotatorio ejercido por la centrifuga el fluido experimenta fuerzas que actúan sobre las partículas incrementando la sedimentación de las mismas bajo la influencia de la gravedad; esto se resalta en el minuto 2 cuando se obtuvo valores de remoción de turbidez superiores al 70% donde se distinguía la formación de dos capas una sólida y la otra líquida.

Esta remoción es debido que el 70% de la partículas poseen un diámetro mayor a las establecidas y una densidad típica de floculo de alúmina ($1,002 - 1,18 \text{ gr/cm}^3$) y su velocidad de sedimentación está dentro de la generada por la centrifuga (1300 RPM), esto argumenta la propiedad de las partículas floculentas, que dentro de sistema de sedimentación alcanza su efectividad entre el 60% - 70%. (ROMERO, 2006).

En base a lo anteriormente dicho, se logra determinar que la mejor sedimentación y deshidratación se obtiene en el minuto 2, debido a que los resultados que obtuvieron se encuentran una relación al aumento de velocidad de sedimentación de la partícula apoyado en la fuerza centrípeta.

4.3 ANÁLISIS GEOTEXTIL+ CENTRÍFUGA

Gráfica 3. Eficiencia de remoción de turbidez aplicando los dos métodos (Geotextil y Centrifuga)



Fuente: elaboración propia

Para establecer si la unión del Geotextil NT 1600 en conjunto con la centrífuga, fue eficiente se debe proceder a observar los datos arrojados en la Gráfica 3, se puede apreciar que la eficiencia de remoción fue alta ya que parámetros como turbidez y sólidos totales ST, fueron removidos en un promedio de 89%.

Es importante resaltar que el tratamiento previo como la filtración que se le dio a los lodos, permitió que la muestra saliera con una característica diferente a las iniciales, por lo que se deduce que en tan sólo este procedimiento ya se había logrado un 45% de la remoción tal cual como se lo había mencionado anteriormente en el funcionamiento del geotextil; sin embargo debido a que el geotextil presenta dificultades para retener partículas de menor tamaño como lo han demostrado en estudios anteriores, debido a que en muchas ocasiones estos efluentes se caracterizan por presentar partículas con tamaños que oscilan desde los 0,014 a 0,25 m (García y Fernández,), mientras que el geotextil en su configuración tiene un tamaño de abertura aparente de 0,16mm, con lo que a mayores velocidades el geotextil inicialmente aumentaría su eficiencia pero con el pasar de los minutos se evidencia la rápida obstrucción de éste.

Por tal motivo es necesario aplicar un segundo método al agua filtrada, con el fin de compactar y retener las partículas de menor tamaño como se demostró en los anteriores ensayos, donde la centrífuga con la fuerza rotatoria que ejerce permitió que las partículas finas se sedimentaran con mayor facilidad en el fondo del tubo, con estos resultados se puede inferir que es viable la combinación de estos dos métodos, ya que luego de realizar pruebas se obtuvo un porcentaje del 95% de remoción de sólidos totales y un 94% de turbidez. Es importante mencionar que se debe tener en cuenta que la eficiencia del geotextil se ve afectada cuando trabaja a grandes velocidades.

4.4 ANÁLISIS POLÍMERO + CENTRÍFUGA

El lodo de plantas de tratamiento de agua potable 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 con centrífugas. Los polímeros tienen dos funciones en el acondicionamiento del lodo para deshidratación. La primera es desestabilizar las cargas de las partículas sólidas, para favorecer la aglomeración (Escobar J. C., 2008). La segunda función es aglomerar esas partículas en flocs, por medio de mecanismos de adsorción y formación de

puentes entre las partículas y el polímero. Es anotar que la turbiedad inicial de las muestras fue de 800 NTU.

Tabla 10. Eficiencia de los polímeros en remoción de turbidez

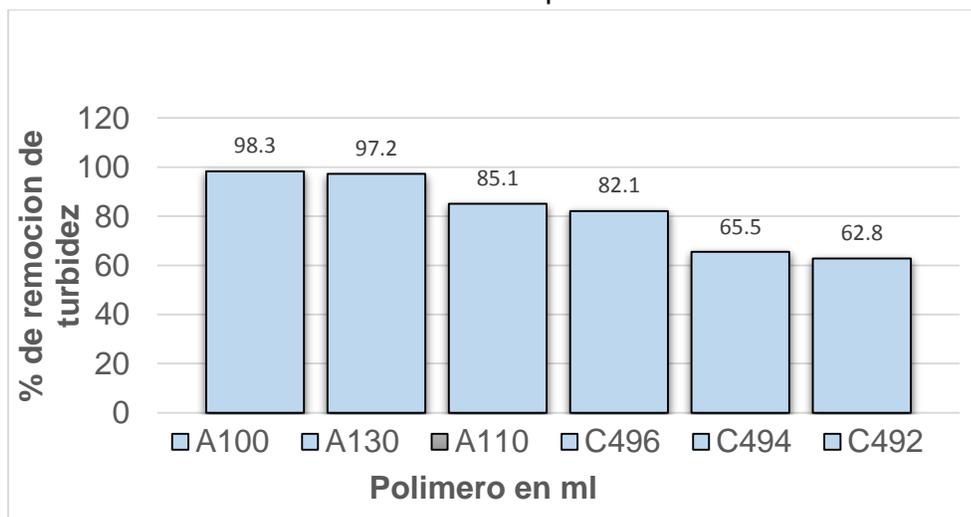
Eficiencia del polímero (2min).				
Polímero (2ml)	Agua ml	Lodo ml	Turbidez (800NTU)	% De Remoción
A 100	7	3	14	98,3
A 130	5	5	23	97,2
A 110	6	4	119	85,1
C 496	5	5	143	82,1
C 494	4	6	276	65,5
C 492	5,3	4,7	298	62,8

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 9 se observa, en términos generales, que el uso de polímeros favoreció la deshidratación del lodo en la centrífuga, principalmente cuando es comparado con los tiempos y porcentaje de remoción del lodo sin aplicación de polímero.

En la Gráfica 4 se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de la eficiencia de turbidez de los 6 polímeros. Se observa que en una concentración de 2 ml de la solución de polímero por cada 10 ml de lodo, en el minuto 2 se obtienen altos porcentajes de remoción con relación a la turbidez.

Gráfica 4. Eficiencia de los polímeros de turbidez



Fuente: elaboración propia

Se realizó la prueba con 6 polímeros diferentes con el fin de encontrar el más eficiente en relación de deshidratación de lodos, como se observa en la Gráfica 4, el polímero Superfloc A 100 y A 130 son los que realizan una mejor y rápida separación de líquido y sólido debido a que son floculante aniónico de alto peso molecular que permite aumentar el tamaño y consistencia de los coágulos recién creados, generando aglomerados o flóculos que se sedimentan con mayor velocidad.

Comparando los resultados obtenidos, con otros reportados en la literatura es posible afirmar que estos son altamente satisfactorios. Por ejemplo (Guzman & Villabona, 2013) evaluaron un nuevo coagulante y floculante basado en Taninos (TANFLOC) para el tratamiento de lodo proveniente de una PTAR, donde mostro una alta efectividad en la eliminación de la turbidez cercano a un (90%).

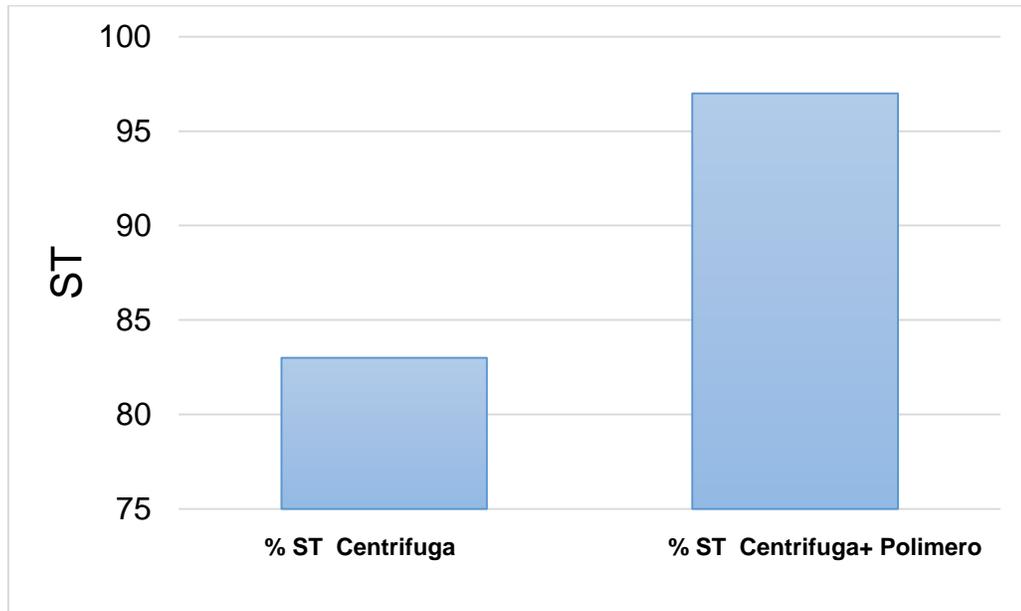
En la Tabla 10 se muestra el aumento en la eficiencia de remoción de los SST en las muestras de lodo, tanto en la prueba con centrifuga y esta mismo coadyuvado con polímero A100.

Tabla 11. Comparación de remoción de sólidos totales (ST).

Réplica	ST entrada (mg/l)	ST centrifuga	% remoción	ST centrifuga + polímero	% Remoción
1	7843	1318	83	234	97
2	8429	1673	80	347	95
3	8019	1126	85,9	108	99

Fuente: elaboración propia

Gráfica 5. Porcentaje de remoción de Sólidos Totales (ST)



Fuente: elaboración propia

En la Gráfica 5, el polímero permite obtener un alto porcentaje de remoción de sólidos totales (97%) debido al efecto del resultado de la interacción entre las partículas suspendidas y el floculante ya que tienden a mejorar la cohesión de los flóculos y a incrementar la velocidad de sedimentación, cabe mencionar que para obtener resultados con mayor eficiencia es recomendable la aplicación de polímeros que permitan acondicionar el lodo antes de ser llevado a la centrifuga.

4.4.1 Parámetros de Diseño de la Centrifuga.

A la hora del diseño es necesario, conocer una serie de datos para determinar las necesidades reales para la instalación, así como para poder seleccionar el equipamiento necesario para suplir las necesidades de la PTAP El Tablazo

4.4.1.1 Parámetros de partida.

- Días de Funcionamiento por mes: 7 días.
- Horas de funcionamiento por día: 6,5 h.
- Numero de centrifugas: 2 las cuales no van a funcionar de manera simultánea.
- Concentración de solidos: 800- 1400 mg/l

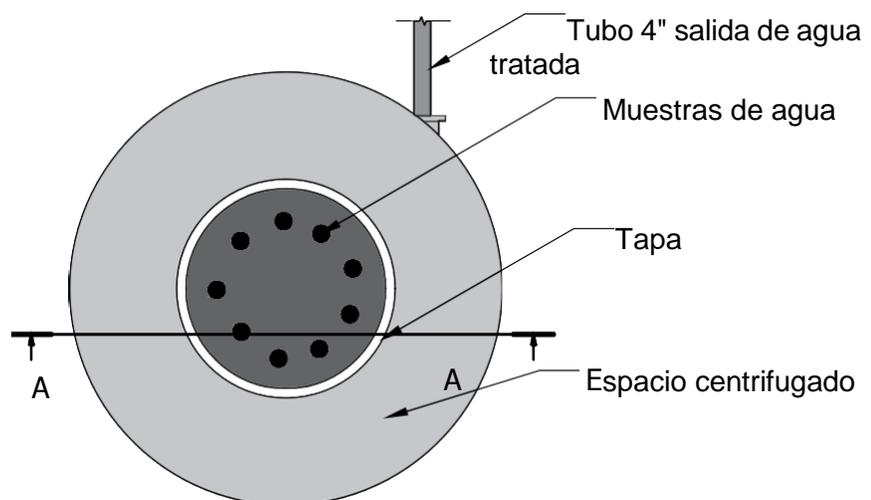
- Densidad del lodo: 1,2.
- Dosis de polímero: 2ml de solución con polímero por cada 10ml de lodo.
- RPM : 600-2900

Tabla 12. Parámetros iniciales del diseño de la centrifuga.

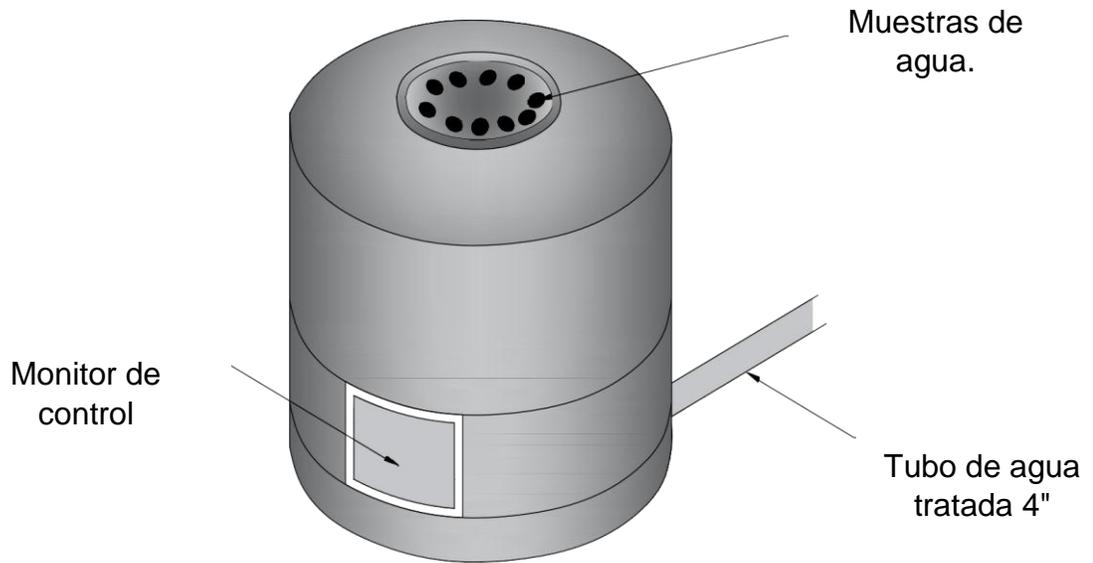
Caudal de entrada	672,08 l/s
Volumen diario de lodo liquido	50m ³ /día
Días de funcionamiento / mes	7
Horas de funcionamiento	6,5
Numero de centrifugas	2
Tubos de la centrifuga	10
Concentración de solidos	1100mg/l
Densidad del lodo	1,2
Dosis de polímero	2:10
RPM	1700

Figura 16. Descripción general del proceso de polímero y centrifuga, parámetros de cálculo

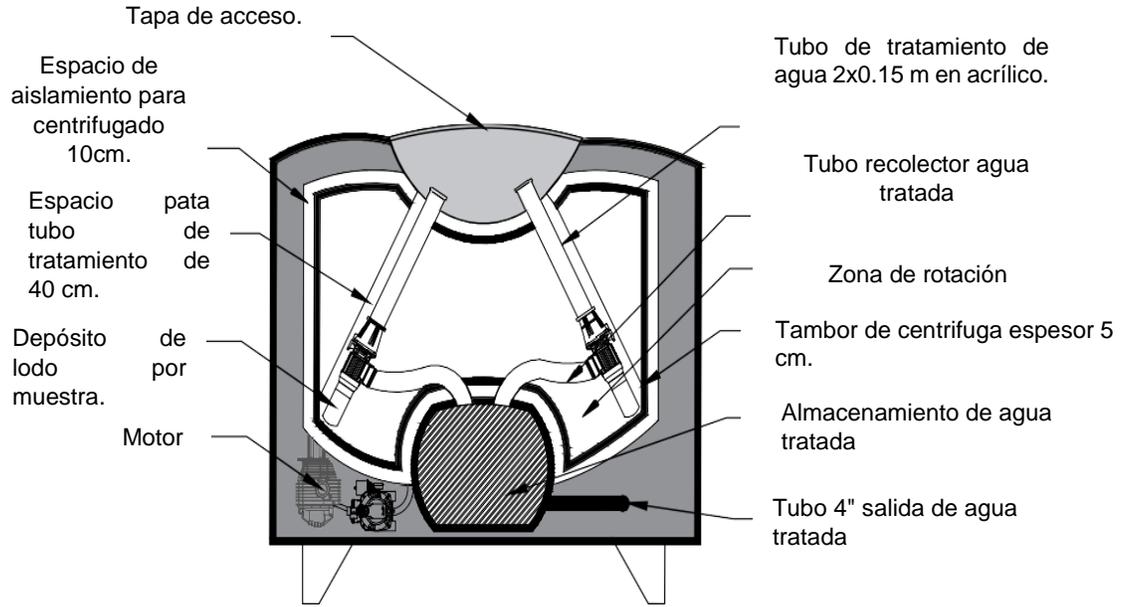
Vista en planta máquina de centrifugación



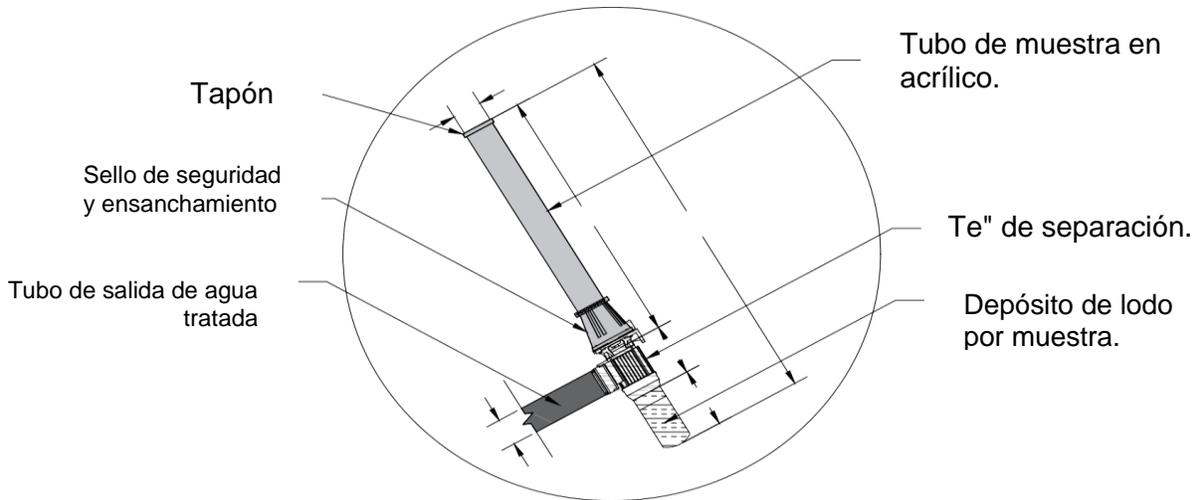
Vista 3d - máquina de centrifugación



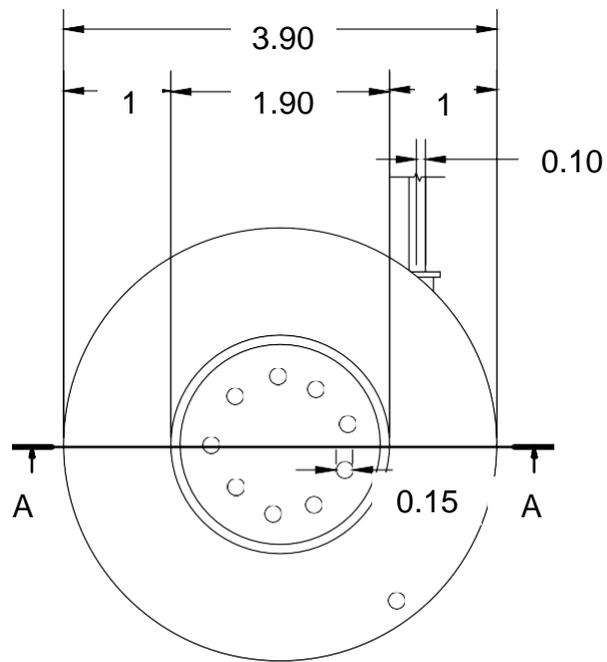
Corte A-A" máquina



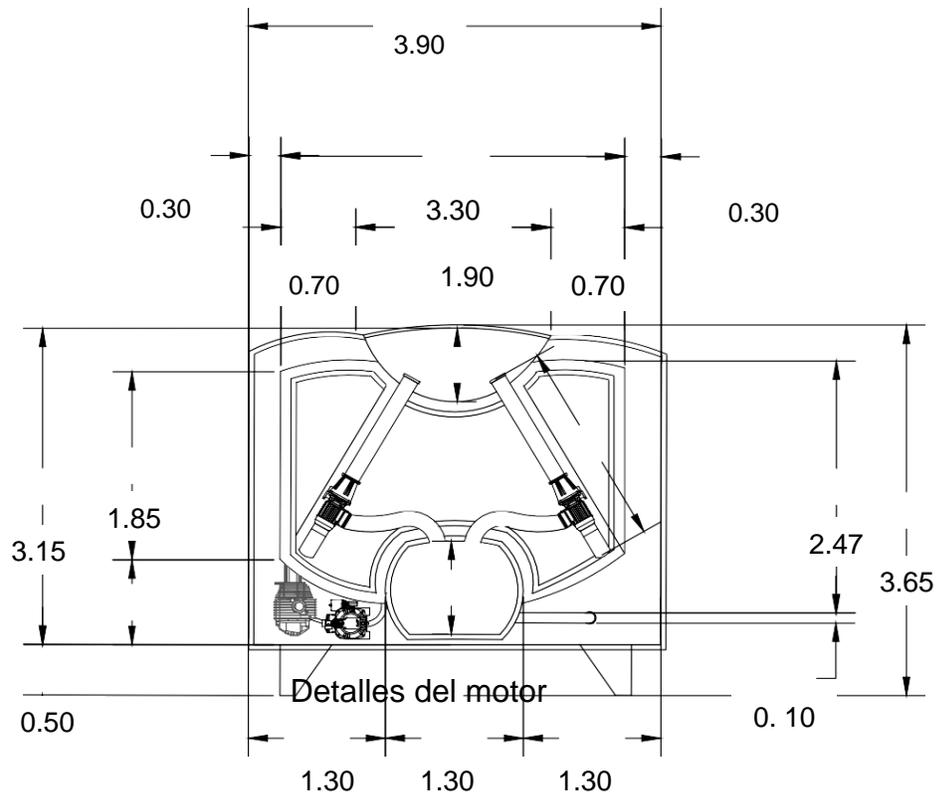
Detalle del tubo recolector de la muestra.

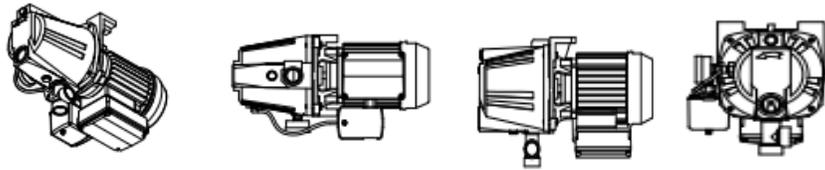


Detalles longitudinales vista en planta máquina de centrifugación



Corte A-A





Fuente: elaboración propia.

4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Con el fin de comparar los dos métodos y de esta manera poder elegir cuál de ellos cumple con los requerimientos o es más eficiente se determina aplicar el método estadístico Hipótesis para dos medias, comparación de dos tratamientos el cual permite conocer las pruebas que se deben realizar y de qué manera para obtener datos que al ser analizados estadísticamente proporcionen resultados y evidencias objetivas que permitan responder a las hipótesis e interrogantes planteadas anteriormente. Con los datos de porcentajes de remoción en función de la turbiedad.

Tabla 13. Comparación de los métodos en relación con la eficiencia de remoción de turbidez

Geotextil (NTU)	Centrífuga (NTU)
85,2	73,2
79	91
65,3	84
91	77,4
78	93
87	81,3

Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Determinación de media y varianza

Media	80,9166667	83,3166667
Varianza	82,6176667	58,9376667

Fuente: elaboración propia

Suposición de varianzas desconocidas: se plantea la hipótesis de igualdad de medias con la alternativa bilateral.

$$H_0: \mu_x = \mu_y$$

$$H_A: \mu_x \neq \mu_y$$

Con un nivel de significancia de 5% ($\alpha=0,05$) suponiendo la igualdad de varianzas

$$Sp^2 = \frac{(6 - 1)(82,6)^2 + (6 - 1)(58,9)^2}{(6 + 6 - 2)}$$

$$Sp^2 = 5145,9$$

$$Sp = 64$$

Se tomaron dos muestras aleatorias de cada tratamiento. Si cada tratamiento sigue una distribución normal y son independientes entre ellos, el estadístico de prueba adecuado para probar la hipótesis de igualdad de medias está dado por:

$$t_0 = \frac{80,9 - 83,3}{\sqrt{\frac{64}{6} + \frac{64}{6}}}$$

$$t_0 \Rightarrow t_{\frac{\alpha}{2}} = 1,81$$

$$|0,52| > 1,81$$

De acuerdo al tratamiento de los datos donde se muestra que la hipótesis es nula y considerando que ésta afirmaba que los métodos eran iguales se considera que los resultados obtenidos en cada prueba son de tratamientos diferentes por ende se puede trabajar por separado o se pueden combinar para alcanzar una mejor eficiencia, lo que se pudo evidenciar el tratamiento de geotextil + centrífuga.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Dentro de la caracterización de los lodos provenientes del proceso de sedimentación en la PTAP El Tablazo, se encontraron concentraciones de aluminio, sólidos totales y turbidez por encima de 600 mg/l los cuales pueden ocasionar graves problemas y alteraciones a la fuente hídrica, donde son vertidos al igual que pueden afectar a las comunidades que se abastecen aguas abajo.
- ✓ El uso del Geotextil NT 1600 como medio filtrante y la utilización de velocidades de 2,3 y 4 m/h empleadas en la filtración de lodos provenientes de los sedimentadores, si bien mostro una alta eficiencia de remoción de sólidos totales, su impacto sobre el rápido desarrollo de la pérdida de carga y la poca duración de carrera hacen que no sea viable optar por la implementación de este tratamiento para este tipo de efluentes.
- ✓ Se logró determinar que la mejor velocidad de filtración es la 2m/h donde se alcanzaron porcentajes de remoción del 90% en relación a la turbidez y sólidos totales, con respecto a la demás velocidades aunque es eficiente el Geotextil NT se satura con mayor facilidad debido a que su impacto sobre el rápido desarrollo de pérdida de carga y la poca duración comprometen su viabilidad para este tipo de efluentes.
- ✓ El lodo sometido a la centrifuga presento mayores resultados de eficiencia en comparación con el método de Geotextil debido a que la fuerza rotatoria de la centrifuga permite compactar y aglomerar las partículas de menor tamaño las cuales no pueden ser retenidas por el Geotextil.
- ✓ Con relación a los montajes y a los ensayos piloto aplicando los métodos de Geotextil y centrifugado se tomaron valores iniciales de turbidez y sólidos totales con el fin de determinar cuál de los métodos es el más eficiente, durante las pruebas realizadas con el geotextil se comprobó que durante la velocidad de filtración 2m/h se logró obtener valores de remoción que oscilan entre el 80,2 – 96,3%, considerando esta velocidad como la óptima ya que hay una mejor retención de partículas debido a que el paso del caudal es más lento y no afecta la porosidad de geotextil, con respecto al tratamiento de la centrifuga se logró determinar que en la velocidad de rotación de 2min se

obtienen resultados favorables que oscilan entre el 78- 96% de remoción de sólidos totales y turbidez debido a que a bajas revoluciones las partículas tienen mejores condiciones de aglomeración.

- ✓ Para aumentar el porcentaje de eficiencia de deshidratación del lodo y conseguir un menor volumen de disposición final se aplicó un polímero comercial antes de ser llevado a la centrífuga, el cual permite incrementar su densidad y peso permitiendo que haya una mejor aglomeración de partículas.
- ✓ En la investigación se determinó que la mejor alternativa de tratamiento para la deshidratación de lodos provenientes del proceso de sedimentación de la PTAP el Tablazo es el centrifugado del lodo con un pre acondicionamiento químico utilizando polímero Superfloc A 100 el cual alcanzo resultados del 98% de efectividad en remoción de turbidez y sólidos totales.
- ✓ Con respecto al método estadístico se confirmó la hipótesis donde efectivamente una de las alternativas de tratamiento, si permitió concentrar y reducir el volumen de los lodos descargados por la PTAP el Tablazo a valores que logran la mejor manejabilidad para una adecuada disposición final. Esta alternativa de tratamiento es el acondicionamiento químico a través de la aplicación de un polímero y posteriormente ser llevado a la centrifuga.

5.2 RECOMENDACIONES

- Con relación al Geotextil NT 1600, se recomienda realizar una disolución de 1:5 debido a que en periodos lluviosos el lodo es más denso y por ende genera la rápida obstrucción de este, motivo por el cual no se puede realizar el proceso de filtración.
- A la hora de aplicar el polímero SUPERFLOC, se debe tener en cuenta la guía suministrada por el laboratorio KIMIRA en la que se encuentra el procedimiento que se debe llevar para obtener resultados favorables.
- Se recomienda estudiar la posibilidad de reutilizar los lodos por el tratamiento de centrifuga como material de cobertura de rellenos sanitarios con el propósito de que su disposición final en estos relleno sea de utilidad.
- En las muestras se vio la necesidad de realizar diluciones de 1: 5 debido a que este es un factor a considerar en la implementación del centrifugado ya que permite reducir la viscosidad y de esta manera eliminar partículas de pequeño tamaño, aumentando la velocidad de sedimentación de las partículas con el objeto de hacer más eficiente el proceso de centrifugado.
- Investigar la posibilidad de estudiar los lodos deshidratados en la agricultura analizándolos previamente por medio de tratamientos biológicos, evitando así peligros de contaminación, principalmente en suelos donde se desarrolla productos comestibles.
- Un proceso que puede reducir el volumen de lodos deshidratados a un valor mínimo, es la incineración de estos mediante su conversión a cenizas. Entonces podemos investigar el uso útil de las cenizas como agregado fino del concreto. Estudios indican que es posible reemplazar un 20% del agregado fino del concreto, por ceniza de lodos obteniendo así beneficios económicos y ambientales.
- Promover la realización de estudios técnicos, implementación y operación de un sitio para la disposición final de estos lodos, con la participación de todas las instituciones gubernamentales y no gubernamentales, involucradas en el manejo de este tipo de residuos.
- Se propone además, estudiar la posibilidad de estudiar el sulfato de aluminio de los lodos descargados por la PTAP el Tablazo pues estudios previos indican que se puede tener una eficiencia en la recuperación del coagulante

de hasta un 70%, aprovechando así su reutilización como coagulante en la PTAP.

- Utilizar las medidas de asepsia a la hora de realizar la toma de muestras y los respectivos análisis en el laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldana, A., & Perez, A. (2017). *Propuesta Para El Tratamiento Y Aprovechamiento De Lodos En Una Ptap Convencional. Caso De Estudio: Planta De Tratamiento De Agua Potable De El Espinal - Tolima*. Recuperado el Junio de 2018, de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/22405/41112712_2017.pdf?sequence=1
- Ambiente, A. P. (30 de Agosto de 2009). *Gestão de Lamas de Estações de Tratamento de Águas Residuais Urbanas (2010 – 2013)* . Recuperado el Septiembre de 2018, de https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/Lamas.pdf
- Avellaneda, M. (Junio de 2016). *Diseño, Propuesta E Implementacion De Un Filtro Para Tratamiento De Aguas De Uso Doméstico En Tanques De Reserva En La Poblacion Del Casco Urbano De La Inspección De San Antonio De Anapoima*. Recuperado el Octubre de 2018, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10401/ANTEPROYECTO%20SEMINARIO%20FILTRO%20ARENA%20ULTIMA%20%20ENTREGA%20JUNIO%202011.pdf?sequence=1>
- Cajas, R. H. (Junio de 2012). *Manejo Y Disposicion De Lodos De La Planta De Tratamiento De Agua Potable El Tablazo*. Obtenido de [file:///D:/Documents/Downloads/Memoria%20hidraulica%20-%20Lechos%20de%20secado%20lodos%20TABLAZO%20\(1\).pdf](file:///D:/Documents/Downloads/Memoria%20hidraulica%20-%20Lechos%20de%20secado%20lodos%20TABLAZO%20(1).pdf)
- Cardenas, Y. A., & Gonzales, A. M. (Octubre de 2015). *Recuperación De Lodos De Las Lagunas De Oxidación Provenientes Del Rproceso De Extraccion De Aceite De Palma. Para Usar Como Abono En Cultivos De Palma Africana*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/3823/3/91530880.pdf>
- Castro, J., & Lopez, M. (s.f.). *Sistema de Reduccion de Lodos en Tratamientos de Aguas Residuales*. Recuperado el Noviembre de 2018, de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:67093/componente67090.pdf
- Diez, F. (2011). *Diseño y calculo de la linea de secado de fangos de una estacion depuradora de aguas residuales mediante centrifuacion*. Recuperado el Noviembre de 2018, de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13350/PFC_FJDS.pdf

- E.P.M. (14 de Diciembre de 2010). *Manual Para La Referencia De Redes De Acueducto Y Alcantarillado*. Recuperado el Agosto de 2018, de https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/manuales/52220-1Manual_Referenciacion07_09_2010.pdf
- Escobar, I. D., & Peña, W. A. (14 de Julio de 2010). *Determinación de la viabilidad en uso de geotextil no tejido como medio filtrante, en flujo horizontal, para la remoción de sólidos suspendidos, materia orgánica y nutrientes en efluentes de piscifactorias de trucha*. Recuperado el Noviembre de 2018, de <file:///D:/Documents/Desktop/akkaak.pdf>
- Escobar, I., & Peña, W. (14 de Julio de 2010). *Determinacion De La Viabilidad En Uso De Geotextil No Tejido Como Medio Filtrante, En Flujo Horizontal Para La Remocion De Solidos Suspendidos, Materia Organica Y Nutrientes En Efluentes De Piscifactorias De Trucha*. Obtenido de <https://jci.uniautonoma.edu.co/2010/2010-6.pdf>
- Escobar, J. C. (2008). *Selección De La Dosis Óptima De Polímero Para El Acondicionamiento Y Deshidratación De Lodos De Plantas De Agua Potable Mediante Centrífugas De Laboratorio*. Recuperado el Noviembre de 2018, de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iii-016.pdf>
- Fernandez, G. A. (Noviembre de 2003). *Manejo de lodos producido en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio de Cartago Valle*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1149/1/guillermoandresramirezfernandez.2003.pdf>
- Florez, J. M. (10 de Octubre de 2010). *Clarificación De Aguas Usando Coagulantes Polimerizados Caso Del Hidroxicloruro De Aluminio*. Recuperado el Octubre de 2018, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>
- Galvis, J., & Rivera, X. (2013). *Caracterización Físicoquímica Y Microbiológica De Los Lodos Presentes En La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Industriales (Ptari) De La Empresa Jugos Hit De La Ciudad De Pereira*. Recuperado el <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3898/62839G182.pdf?sequence=1> de Octubre de 2018
- Garcia, L., & Fernandez, J. (AGOSTO de 2017). *Estudio Del Uso De Geotextiles Nt En El Tratamiento Del Efluente De Sedimentadores Y Filtros Rápidos En La Planta De Tratamiento De Agua Potable El Tablazo De Popayan Cauca*. Recuperado el Junio de 2018, de

<https://mail.google.com/mail/u/0/#search/mauricio/162492912f055411?projector=1&messagePartId=0.3>

- Gonzales, P. D. (15 de Julio de 2015). *Funciones Y Aplicaciones De Los Geotextiles*. Recuperado El Noviembre De 2018, De Funciones Y Aplicaciones De Los Geotextiles: http://revistaelectronica-ipn.org/Contenido/14/TECNOLOGIA_14_000320.pdf
- Gutierrez, H., & Salazar, R. (s.f.). *Analisis y Diseños de Experimentos*. Recuperado el Octubre de 2018, de <file:///C:/Users/Andrea%20Perdomo/Downloads/Analisis%20y%20diseno%20de%20experimentos.pdf>
- Guzman, L., & Villabona, A. (2013). *Reduccion de la turbidez del agua usando coagulantes naturales*. Recuperado el Diciembre de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a29.pdf>
- Instituto de Hidrologia, M. y. (2010). *SÓLIDOS TOTALES SECADOS A 103– 105°C*. Recuperado el Octubre de 2018, de *SÓLIDOS TOTALES SECADOS A 103 – 105°C*: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Totales+secados+a+103+-+105%C2%BAC..pdf/d4faab4a-34e4-4159-bf4c-50353b101935>
- KEMIRA. (2015). *FICHA TECNICA SUPERFLOC*. Obtenido de [http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/superfloc%20a100hmw\(l\).pdf](http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/superfloc%20a100hmw(l).pdf)
- Lopez, R. (2012). *Memoria de Diseño Hidraulico*. Recuperado el Noviembre de 2018, de [file:///D:/Documents/Downloads/Memoria%20hidraulica%20-%20Lechos%20de%20secado%20lodos%20TABLAZO%20\(3\).pdf](file:///D:/Documents/Downloads/Memoria%20hidraulica%20-%20Lechos%20de%20secado%20lodos%20TABLAZO%20(3).pdf)
- Mininterior. (1993). *Ley 99 de 1993*. Obtenido de <https://www.mininterior.gov.co/la-institucion/normatividad/ley-99-de-1993>
- Pabon, D., & Rodriguez, J. (2015). *Estudio De Lodos Generados Por Las Unidades De Sedimentación Y Filtración De La Planta De Tratamiento De Agua Potable El Tablazo En La Ciudad De Popayán*. Recuperado El Octubre De 2018, De <https://Mail.Google.com/mail/u/0/#search/mauricio+ramirez/FMfcgxmZTInP-TwhvtmrZfSIFxqgVHRhW?projector=1&messagePartId=0.1>
- Paredes, D. (27 de Agosto de 2014). *TRATAMIENTOS DE LODOS GENERADOS EN EL PROCESO CONVENCIONAL DE POTABILIZACION DE AGUA*. Obtenido de <file:///D:/Documents/Downloads/Tratamientodelodosgeneradosenelprocesconvencionaldepotabilizacindeagua.pdf>

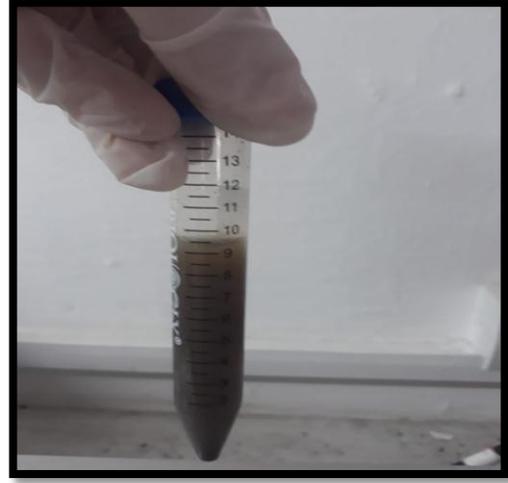
- Popayán-S.A.E.S.P, E. d. (2010). *PLANTAS DE TRATAMIENTO*. Obtenido de PLANTAS DE TRATAMIENTO: <http://www.acueductopopayan.com.co/institucional/infraestructura/plantas-de-tratamiento/>
- Ramirez, J. A., & Hurtado, J. C. (2003). *REUTILIZACION DE LODOS DE PLANTA DE POTABILIZACION EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/1215/1/julianalbertogalloramirez.juancarlosuribehurtado.2003.pdf>
- RAS. (Noviembre de 2000). *SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES -TITULO D*. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_d_.pdf
- Rivero, J., & Bastias, R. (2010). *EFECTO DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA CIUDAD D TRUJILLO EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS DE LA ZONA AGRICOLA DE MOCHE*. Recuperado el Octubre de 2018
- Salud, O. M. (2006). *GUIAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE*. Recuperado el Octubre de 2018, de GUIAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE : https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Sanchez, I. A. (2016). *Desempeño de la Planta de tratamiento de Aguas residuales de Sao Joao de Iracema Brasil*. Recuperado el Noviembre de 2018, de <file:///D:/Documents/Desktop/articulo%20brasil.pdf>
- Sanin, M. A. (2013). *EVALUACION DE UNA MANTA SINTETICA NO TEJIDA EN UN SISTEMA PILOTO DE FILTRACION LENTA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA*. Recuperado el Septiembre de 2018, de <file:///C:/Users/Andrea%20Perdomo/Downloads/Evaluaci%C3%B3n%20de%20una%20manta%20sint%C3%A9tica%20no%20tejida%20en%20un%20sistema%20piloto%20de%20filtraci%C3%B3n%20lenta%20para%20el%20tratamiento%20del%20agua.pdf>
- Seco, F. J. (2011). *DISEÑO Y CALCULO DE LA LINEA DE SECADO DE FANGOS DE UNA ESTACION DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE CENTRIFUGACION*. Recuperado el Octubre de 2018, de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13350/PFC_FJDS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Territorial, M. d. (Octubre de 2010). *DECRETO 3930 DEL 2010*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf
- Toro, J. N. (2013). *Propuesta Metodologica Para Tratamiento de Lodos Provenientes de Planta de Potabilizacion en las Sabanas de Bogota*. Recuperado el Noviembre de 2018, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11289/Proyecto%200695-764%20Nicolas%20Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1>
- Torres, J. R. (2013). *Propuesta Metodologica para el tratamiento de lodos provenientes de plantas de potabilizacion en la sabana de Bogota*. Recuperado el Noviembre de 2018, de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11289/Proyecto%200695-764%20Nicolas%20Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1>
- Vasquez, R., & Hernandez, V. (2012). *RIESGOS A LA SALUD POR PRESENCIA DE ALUMINIO EN AGUA POTABLE*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/944/94402508.pdf>

ANEXOS

Anexo A. Álbum fotográfico

Remoción en el minuto 2 de la centrifuga



Remoción en el min 2 en la centrifuga aplicando polímero a100



Pérdida de carga piezométrica en el filtro con geotextil



Retención de sólidos en el geotextil (saturado)



Determinación De dosis de polímero super flocc



Anexo B. Tablas de remoción de turbidez con método de geotextil

Réplica	Filtro	Q(ml/min) Promedio	V(m/h)	Turbiedad afluente (NTU)	Tiem. (min)	Turbiedad Efluente (NTU)	Eficiencia de remoción %
1	1	511,23	2	3996	5	164	95,9
					7	298	92,5
					10	521	86,9
	2	769,69	3		5	194	95,1
					7	226	94,3
					10	547	86,3
	3	1026,25	4		5	258	93,5
					7	397	90,1
					10	601	84,9
2	1	511,23	2	4205	5	147	96,5
					7	269	93,6
					10	401	90,5
	2	769,69	3		5	185	95,6
					7	304	92,8
					10	465	88,9
	3	1026,25	4		5	304	92,8
					7	422	89,9
					10	647	84,6
3	1	511,23	2	3930	5	204	94,8
					7	276	92,9
					10	425	89,2
	2	769,69	3		5	286	92,8
					7	349	91,1
					10	541	86,2
	3	1026,25	4		5	365	90,7
					7	419	89,3
					10	687	82,5

Réplica	Filtro	Q(ml/min) Promedio	V(m/h)	Turbiedad afluente (NTU)	Tiempo (min)	Turbiedad Efluente	Eficiencia de remoción %
1	1	511,23	2	3670	5	501	86,3
					7	587	84
					10	677	81,5
	2	769,69	3		5	549	85,1
					7	614	83,3
					10	705	80,8
	3	1026,25	4		5	569	84,5
					7	647	82,4
					10	725	80,2
2	1	511,23	2	3970	5	221	93,9
					7	296	91,9
					10	453	87,6
	2	769,69	3		5	339	90,7
					7	385	89,5
					10	587	84
	3	1026,25	4		5	415	88,6
					7	479	86,9
					10	574	84,4
3	1	511,23	2	4155	5	137	96,3
					7	209	94,3
					10	447	87,8
	2	769,69	3		5	245	93,3
					7	286	92,2
					10	342	90,6
	3	1026,25	4		5	367	90
					7	417	88,6
					10	524	85,7

Réplica	Filtro	Q(ml/min) Promedio	V(m/h)	Turbiedad afluente (NTU)	Tiempo (min)	Turbiedad Efluente	Eficiencia de remoción %
1	1	511,23	2	3995	5	124	96,9
					7	183	95,4
					10	295	92,6
	2	769,69	3		5	179	95,5
					7	254	93,6
					10	316	92,1
	3	1026,25	4		5	341	91,5
					7	479	88
					10	632	84,2
2	1	511,23	2	3890	5	167	95,7
					7	253	93,5
					10	378	90,3
	2	769,69	3		5	147	96,2
					7	273	92,9
					10	443	88,6
	3	1026,25	4		5	289	92,6
					7	354	90,8
					10	576	85,2
3	1	511,23	2	4395	5	187	95,7
					7	288	93,4
					10	496	88,7
	2	769,69	3		5	237	94,6
					7	365	91,7
					10	553	87,4
	3	1026,25	4		5	258	94,1
					7	462	89,5
					10	687	84,4

Muestra	Tiempo (min)	Lodo ml inicial	Agua ml	Turbidez (NTU)	Lodo % final	Agua %	Turbidez NTU	Eficiencia de remoción%
En blanco	1	0	10	1,35	0	100	1,35	
Muestra 1		9	1	3996	1	9	2540	36,4
Réplica		9	1		1	9	2546	36,3
Geo+centrífuga		7	3		0,10	9,90	1865	53,3
Réplica		7	3		0,06	9,94	1871	53,2
En blanco	2	0	10		1,35	0	100	1,35
Muestra 1		8	2	3996	0,30	9,70	990	75,2
Réplica		8	2		0,30	9,70	990	75,2
Geo+centrífuga		6	4		0,10	9,90	321	91,9
Réplica		6	4		0,05	9,95	327	91,8
En blanco	3	0	10		1,35	0	100	1,35
Muestra 1		7	3	3996	0,40	9,60	442	88,9
Réplica		7	3		0,80	9,20	439	89,1
Geo+centrífuga		5	5		0,10	9,90	117	97,1
Réplica		5	5		0,05	9,95	117	97,1
En blanco	4	0	10		1,35	0	100	1,35
Muestra 1		6	4	3996	0,80	9,20	156	96,1
Réplica		6	4		1	9	154	96,2
Geo+centrífuga		4	6		0,20	9,80	178	95,5
Réplica		4	6		0,40	9,60	183	95,4
En blanco	5	0	10		1,35	0	100	1,35
Muestra 1		6	4	3996	0,60	9,40	92	97,6
Réplica		6	4		0,80	9,20	87	97,8
Geo+centrífuga		4	6		0,40	9,60	235	94,1
Réplica		4	6		0,10	9,90	243	93,9

Muestra	Tiempo (min)	Lodo inicial	Agua	Turbidez (NTU)	Lodo final	Agua	Turbidez (NTU)	Eficiencia de remoción%
En blanco	1	0	10	1,35	0	10	1,35	
Muestra 1		9	1	3160	2	8	1865	40,9
Réplica		9	1		5	5	1845	41,6
Geo+centrífuga		7	3		0,02	9,98	1600	49,3
Réplica		7	3		0,10	9,90	1603	49,3
En blanco	2	0	10		3160	0	10	1,35
Muestra 1		8	2	2		8	873	72,4
Réplica		8	2	1		9	877	72,2
Geo+centrífuga		6	4	0,02		9,98	310	90,2
Réplica		6	4	0,07		9,93	314	90,1
En blanco	3	0	10	3160	0	10	1,35	
Muestra 1		7	3		0,90	9,10	325	85,7
Réplica		7	3		2,10	8,90	325	85,7
Geo+centrífuga		5	5		0,10	9,90	93	97,1
Réplica		5	5		0,02	99,8	94	97
En blanco	4	0	10	1,35	0	10	1,35	
Muestra 1		6	4	3160	2,60	8,40	115	96,3
Réplica		6	4		2,60	8,40	117	96,3
Geo+centrífuga		4	6		0	10	212	93,3
Réplica		4	6		0,02	9,98	213	93,2
En blanco	5	0	10		1,35	0	10	1,35
Muestra 1		4	6	3160	1	9	91	97,1
Réplica		4	6		0,09	9,91	92	97,1
Geo+centrífuga		2	8		0,06	9,94	284	91
Réplica		2	8		0,02	9,98	287	90,9

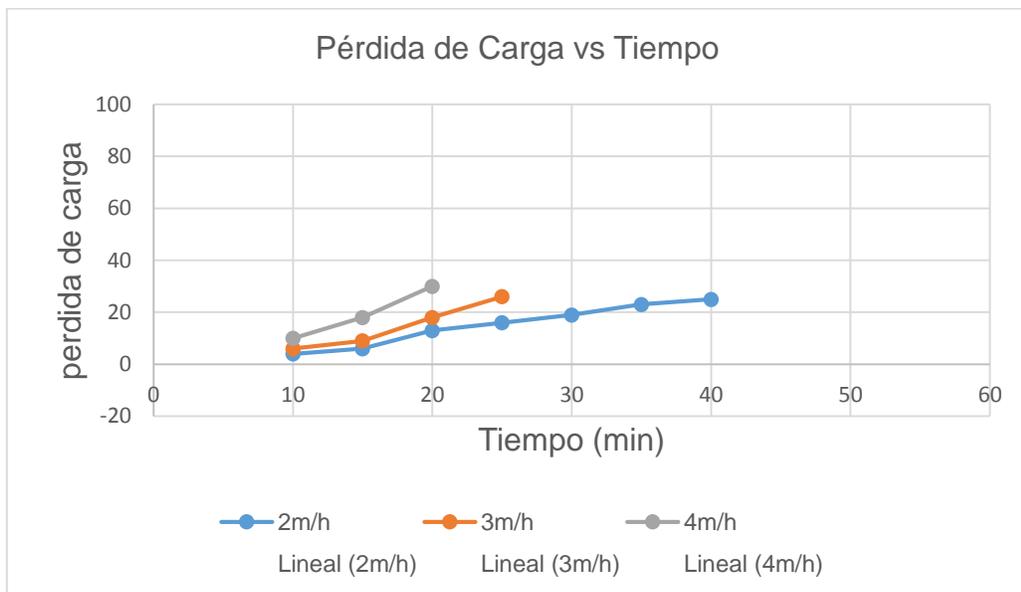
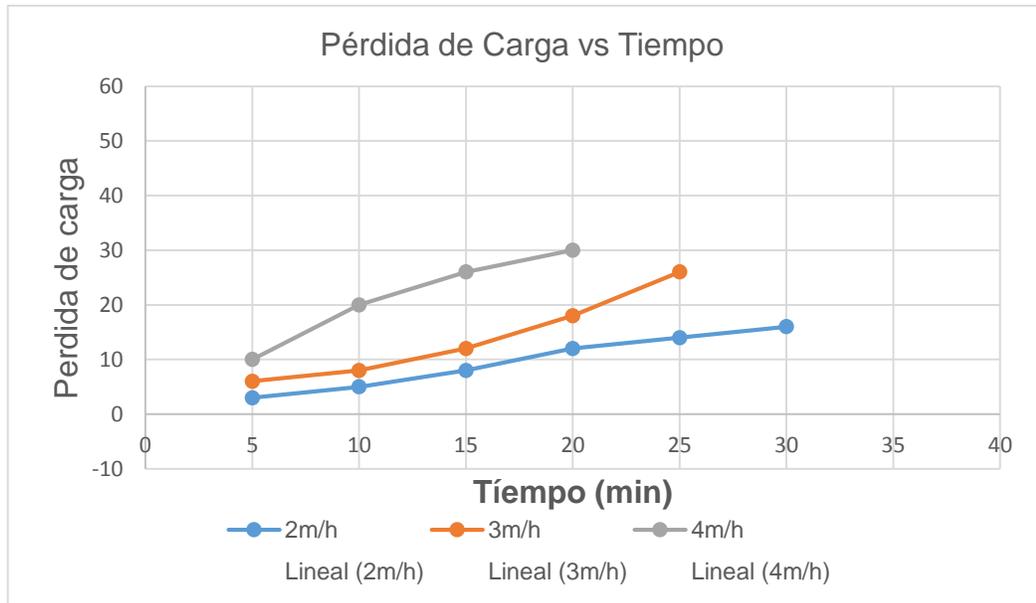
Anexo C. Tablas remoción de turbidez aplicando geotextil NT + centrífuga

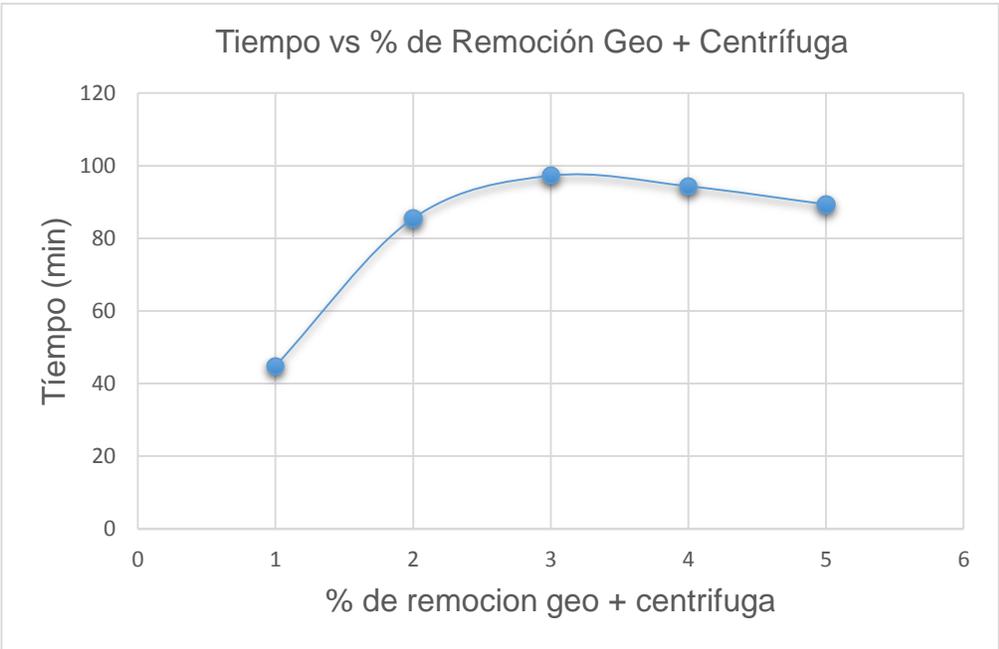
Muestra	Tiempo (min)	Lodo ml inicial	Agua ml	Turbidez NTU	Lodo final	Agua	Turbidez NTU	Eficiencia de remoción %
En blanco	1	0	10	1,35	0	100	1,35	
Muestra 1		6	4	3290	2	8	2486	24,4
Réplica		7	3		5	5	2456	25,3
Geo+centrífuga		7	3		0,2	9,8	1817	44,8
Replica		7	3		0,10	9,9	1813	44,9
En blanco	2	0	10	1,35	0	100	1,35	
Muestra 1		8	2	3290	2	8	965	70,4
Réplica		8	2		1	9	965	70,4
Geo+centrífuga		6	4		0,02	9,98	474	85,6
Réplica		6	4		0,07	9,93	478	85,5
En blanco	3	0	10	1,35	0	100	1,35	
Muestra 1		7	3	3290	0,8	9,2	341	89,6
Réplica		7	3		0,8	9,2	345	89,5
Geo+centrífuga		5	5		0,02	9,98	82	97,5
Réplica		5	5		0,02	9,98	91	97,2
En blanco	4	0	10	1,35	0	100	1,35	
Muestra 1		6	4	3290	0,8	9,2	134	95,9
Réplica		6	4		0,7	9,3	117	96,4
Geo+centrífuga		4	6		0,10	9,9	176	94,6
Réplica		4	6		0,10	9,9	192	94,2
En blanco	5	0	10	1,35	0	100	1,35	
Muestra 1		6	4	3290	0,20	9,80	85	97,4
Réplica		6	4		0,40	9,60	97	97,1
Geo+centrífuga		4	6		0	10	341	89,6
Réplica		4	6		0	10	351	89,3

Muestra	Tiempo (Min)	Lodo inicial	Agua	Turbidez NTU	Lodo final	Agua	Turbidez NTU	% De remoción
En blanco	1	0	10	1,35	0	10	1,35	
Muestra 1		9	1	3260	2	8	2513	22,9
Réplica		9	1		5	5	2522	22,6
Geo+centrífuga		7	3		0,02	9,98	1845	43,4
Réplica		7	3		0,10	9,90	1833	43,7
En blanco	2	0	10	3260	0	10		
Muestra 1		8	2		2	8	1087	66,6
Réplica		8	2		1	9	1074	67,1
Geo+centrífuga		6	4		0,02	9,98	641	80,5
Réplica		6	4		0,07	9,93	641	80,5
En blanco	3	0	10	3260	0	10	1,35	
Muestra 1		7	3		0,90	9,10	551	83,3
Réplica		7	3		2,10	8,90	554	83,2
Geo+centrífuga		5	5		0,10	9,90	123	96,3
Réplica		5	5		0,02	99,8	134	95,9
En blanco	4	0	10	3260	0	10	1,35	
Muestra 1		6	4		2,60	8,40	148	95,5
Réplica		6	4		2,60	8,40	155	95,3
Geo+centrífuga		4	6		0	10	287	91,3
Réplica		4	6		0,02	9,98	299	90,9
En blanco	5	0	10	3260	0	10	1,35	
Muestra 1		4	6		1	9	121	96,2
Réplica		4	6		0,09	9,91	123	96,3
Geo+centrífuga		2	8		0,06	9,94	358	89,1
Réplica		2	8		0,02	9,98	376	88,5

Muestra	Tiempo (min)	Lodo ml inicial	Agua mL	Turbidez NTU	Lodo final	Agua	Turbidez NTU	Eficiencia de remoción %
En blanco	1	0	10	1,35	0	10	1,35	
Muestra 1		8	2	3665	6	4	2874	21,6
Réplica		8	2		6,60	3,40	2868	21,7
Geo+centrífuga		7	3		0,02	9,98	2214	39,6
Replica		6	4		0	10	2217	39,5
En blanco	2	0	10		1,35	0	10	1,35
Muestra 1		8	2	3665	6	4	1518	58,6
Réplica		7	3		6	4	1527	58,3
Geo+centrífuga		6	4		2	8	978	73,3
Réplica		6	4		3	7	981	73,2
En blanco	3	0	10		1,35	0	100	1,35
Muestra 1		7	3	3665	2,20	7,80	905	75,3
Réplica		7	3		3,60	3,60	901	75,4
Geo+centrífuga		5	5		0,02	9,98	551	85
Réplica		5	5		0	10	554	84,9
En blanco	4	0	10		1,35	0	10	1,35
Muestra 1		6	4	3665	2,20	7,80	511	86,1
Réplica		6	4		3,60	6,40	517	85,9
Geo+centrífuga		4	6		0,02	9,98	156	95,7
Réplica		4	6		0	10	159	95,6
En blanco	5	0	10		1,35	0	100	1,35
Muestra 1		3	7	3665	1	9	183	95
Réplica		3	7		2	8	176	95,2
Geo+centrífuga		2	8		0	10	267	92,7
Réplica		2	8		0,02	9,98	269	92,7

Muestra	Tiempo (min)	Lodo inicial	Agua	Turbidez NTU	Lodo final	Agua	Turbidez NTU	Eficiencia de remoción %
En blanco	1	0	10	1,35	0	10	1,35	
Muestra 1		8	2	4220	4	6	3154	25,3
Réplica		8	2		4	6	3163	25,1
Geo+centrífuga		5	5		2	8	2921	30,8
Réplica		5	5		3	7	2924	30,7
En blanco	2	0	10			0	10	
Muestra 1		7	3	4220	0,20	9,80	2014	52,3
Réplica		8	2		0,40	9,60	2018	52,2
Geo+centrífuga		5	5		0,10	9,90	1422	66,3
Réplica		5	5		0,04	9,96	1412	66,5
En blanco	3	0	10			0	10	1,35
Muestra 1		7	3	4220	0,04	9,96	1021	75,8
Réplica		7	3		0,10	9,90	1018	75,8
Geo+centrífuga		5	5		0,10	9,90	832	80,3
Réplica		5	5		0,20	9,80	840	80,1
En blanco	4	0	10		1,35	0	10	1,35
Muestra 1		6	4	4220	0,10	0,90	612	85,5
Réplica		6	4		0,80	9,2	602	85,7
Geo+centrífuga		4	6		0	10	241	94,3
Réplica		4	6		0	10	224	94,7
En blanco	5	0	10			0	10	1,35
Muestra 1		4	6	4220	0,10	9,90	196	95,3
Réplica		4	6		0,10	9,90	187	95,5
Geo+centrífuga		2	8		0	10	311	92,6
Réplica		2	8		0	10	318	92,5





Anexo D. Tabla remoción de turbidez, con polímero y centrífuga

Eficiencia del polímero (1min)			
Polímero (1ml)	Agua	Lodo	Turbidez (800NTU)
A 100	0,8	9,2	546
A 130	1	9	586
A 110	1	9	632
C 496	5	5	623
C 494	6	4	611
C 492	2	8	745

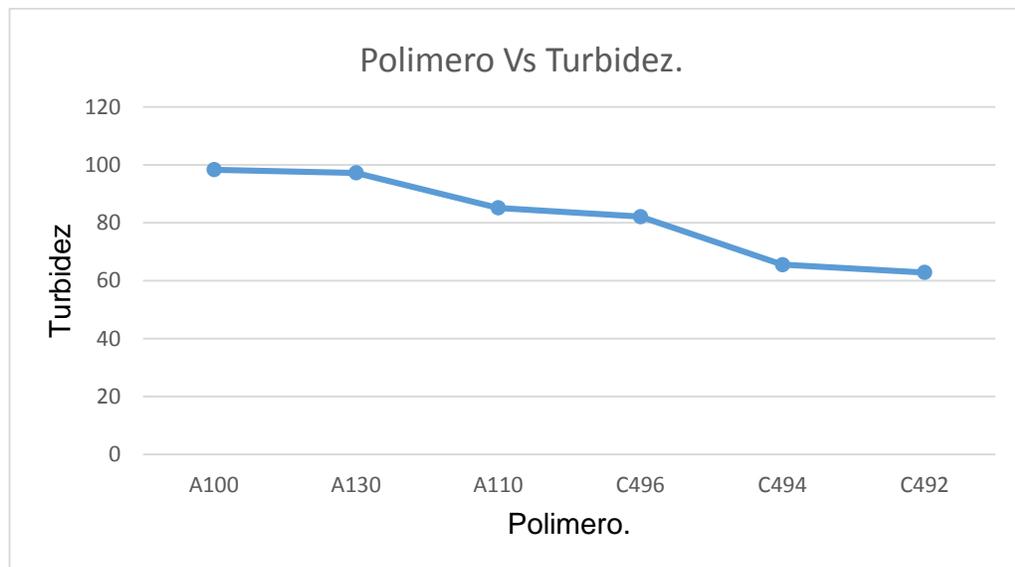
Eficiencia del Polímero (2min)			
Polímero (1ml)	Agua	Lodo	Turbidez (800NTU)
A 100	6	4	145
A 130	5,5	5,5	176
A 110	5	5	187
C 496	4,5	6,3	233
C 494	4,7	6,3	256
C 492	6	4	298

Eficiencia del polímero (3min)			
Polímero (1mL)	Agua	Lodo	Turbidez (800NTU)
A 100	7	3	42,1
A 130	6	4	45,5
A 110	6	4	52
C 496	5	5	54,6
C 494	5	5	63,4
C 492	4	6	84,5

Eficiencia del polímero (4min)			
Polímero (1mL)	Agua	Lodo	Turbidez (800NTU)
A 100	6	4	28

A 130	5	5	32
A 110	7	3	43
C 496	4	6	37
Eficiencia del polímero (4min)			
Polímero (1mL)	Agua	Lodo	Turbidez (800NTU)
C 494	5	5	49
C 492	4	6	44

Eficiencia del polímero (5min)			
Polímero (1ml)	Agua	Lodo	Turbidez (800NTU)
A 100	5	5	14,5
A 130	6	4	10,7
A 110	5	5	21,6
C 496	6,5	3,5	22
C 494	6,5	3,5	23,4
C 492	6	4	29,1



Eficiencia del polímero (1 min)			
Polímero (2ml)	Agua	Lodo	Turbidez (800NTU)

A 100	4	6	432
A 130	3	7	361
A 110	3	7	412
C 496	5	5	387
C 494	4	6	409
C 492	5	5	356
Eficiencia del polímero (2 min.)			
Polímero (2mL)	Agua	Lodo	Turbidez (800NTU)
A 100	7	3	14
A 130	5	5	23
A 110	6	4	119
C 496	5	5	143
C 494	4	6	298
C 492	5,3	4,7	276

Eficiencia del polímero (3 min.)			
Polímero (2mL)	Agua	Lodo	Turbidez (800NTU)
A 100	6	4	38
A 130	7	3	52
A 110	5	5	201
C 496	6,7	3,3	214
C 494	6	4	123
C 492	5	5	309

Eficiencia del polímero (4 min.)			
Polímero (2mL)	Agua	Lodo	Turbidez (800NTU)
A 100	5	5	112
A 130	6	4	156
A 110	7	3	246
C 496	5	5	267
C 494	6	4	287
C 492	5,6	4,4	115

Eficiencia del polímero (5 min.)			
Polímero (2mL)	Agua	Lodo	Turbidez (800NTU)

A 100	6	4	201
A 130	7	3	256
A 110	5	5	341
C 496	6	4	365
C 494	7	3	285
C 492	5	5	256

