16

FECHA	lunes, 25 de enero de 2021

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
BIBLIOTECA
Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Seccional Girardot
TIPO DE DOCUMENTO	Pasantía
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	**Ingeniería Ambiental**

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Mogollón Robayo	Jairo Iván	1069725836

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Suarez Pulido	Dalia Xiomara

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Gestión de los Lodos Producidos Durante el Proceso de Potabilización de Agua en el Centro Vacacional Cafam Melgar

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniero Ambiental

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÀGINAS
01/11/2020	56

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1.Caudal	Flow
2.Microorganismo	Microorganism
3.Biosólido	Biosolid
4.Aprovechamieno	Exploitation
5.Lodo	Mud
6.Agua Residual	Residual water

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS
(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Resumen

Durante el proceso de potabilización del agua se da la formación de una serie de subproductos debido al uso de sustancias que permiten realizar la remoción eficiente del material suspendido presente en ella. Uno de esos subproductos corresponde al lodo residual, cuyas características dependen de factores como; la calidad del agua a tratar y el proceso utilizado, lo cual determina las características finales del subproducto final. En la mayoría de las plantas de potabilización (PTAP), se utilizan sales de aluminio como agente coagulante, lo cual hace que las concentraciones de aluminio en los lodos sean bastante significativas, y que al ser vertidos de manera indiscriminada a las fuentes hídricas, generan impactos negativos al medio ambiente y a la salud humana como la formación de bancos de lodos en cuerpos de agua con bajo flujo, la afectación a los organismos acuáticos debido a la bioacumulación de aluminio, afectando así la cadena trófica, la contaminación por algunos microorganismos patógenos y el crecimiento microbial en el agua de manera desmedida.

En el presente documento se plantean estrategias y alternativas que permitan mitigar el impacto negativo que genera el vertimiento a las fuentes hídricas de los lodos residuales, generados durante el proceso de potabilización de agua en la PTAP del Centro Vacacional de CAFAM Melgar (CVM). Para el desarrollo de las estrategias se realizó un trabajo de descripción de las características que componen los lodos generados en las unidades de; coagulación, floculación, sedimentación, y filtración, dicha descripción se realizó mediante la recolección de información secundaria. De igual manera, se realizó la caracterización del agua cruda mediante pruebas de laboratorio, para posteriormente determinar los cálculos mensuales correspondientes a la generación de lodo seco y así realizar los cálculos hidráulicos que permitirán el diseño de los lechos de secado, para finalmente establecer la hoja ruta adecuada en la disposición o aprovechamiento del material deshidratado.

Abstrac

During the water purification process there is the formation of a series of by-products due to the use of substances that allow efficient removal of the suspended material present in it. One of these by-products corresponds to residual sludge, whose characteristics depend on factors such as; the quality of the water to be treated and the process used, which determines the final characteristics of the final by-product. In most water treatment plants (PTAP), aluminum salts are used as a coagulating agent, which makes the concentrations of aluminum in the sludge quite significant, and that when they are indiscriminately discharged into water sources, they generate negative impacts on the environment and human health, such as the formation of sludge banks in low-flow water bodies, the affectation of aquatic organisms due to the bioaccumulation of aluminum, thus affecting the trophic chain, contamination by some pathogenic microorganisms and microbial growth in water excessively.

In this document, strategies and alternatives are proposed that allow mitigating the negative impact generated by the discharge to water sources of residual sludge, generated during the water purification process in the PTAP of the CAFAM Melgar Vacation Center (CVM). For the development of the strategies, a description of the characteristics that make up the sludge generated in the units of; coagulation, flocculation, sedimentation, and

filtration, this description was made through the collection of secondary information. In the same way, the characterization of the raw water was carried out through laboratory tests, to later determine the monthly calculations corresponding to the generation of dry sludge and thus perform the hydraulic calculations that will allow the design of the drying beds, to finally establish the sheet adequate route in the disposal or use of the dehydrated material

AUTORIZACION DE PUBLICACIÒN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.		X
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.		X
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.		X
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.		X

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún

caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, *"Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores"*, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.
SI ___ NO ___.
En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.

j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.

Nota:
Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. **Gestión de los Lodos Producidos Durante el Proceso de Potabilización de Agua en el Centro Vacacional Cafam Melgar**	Texto
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Mogollón Robayo Jairo Iván	

21.1-51.20

Gestión de los Lodos Producidos Durante el Proceso de Potabilización de Agua en el Centro Vacacional Cafam Melgar

Jairo Iván Mogollón Robayo

Universidad de Cundinamarca, Seccional Girardot

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Programa de Ingeniería Ambiental

Girardot

2020

Gestión de los Lodos Producidos Durante el Proceso de Potabilización de Agua en el Centro Vacacional Cafam Melgar

Jairo Iván Mogollón Robayo

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental

Tutora.

Dalia Xiomara Suarez Pulido

Bióloga. Ms.c en Ingeniería Ambiental

Universidad de Cundinamarca, Seccional Girardot

Facultad de Ciencias Agropecuaria

Programa de Ingeniería Ambiental

Girardot

2020

Dedicatoria

A mis padres y mis hijas por su inmenso amor.

Agradecimientos

A cada una de las personas que contribuyeron de una u otra manera en el desarrollo de mi carrera, en especial Yesica.

Resumen

Durante el proceso de potabilización del agua se da la formación de una serie de subproductos debido al uso de sustancias que permiten realizar la remoción eficiente del material suspendido presente en ella. Uno de esos subproductos corresponde al lodo residual, cuyas características dependen de factores como; la calidad del agua a tratar y el proceso utilizado, lo cual determina las características finales del subproducto final. En la mayoría de las plantas de potabilización (PTAP), se utilizan sales de aluminio como agente coagulante, lo cual hace que las concentraciones de aluminio en los lodos sean bastante significativas, y que al ser vertidos de manera indiscriminada a las fuentes hídricas, generan impactos negativos al medio ambiente y a la salud humana como la formación de bancos de lodos en cuerpos de agua con bajo flujo, la afectación a los organismos acuáticos debido a la bioacumulación de aluminio, afectando así la cadena trófica, la contaminación por algunos microorganismos patógenos y el crecimiento microbial en el agua de manera desmedida.

En el presente documento se plantean estrategias y alternativas que permitan mitigar el impacto negativo que genera el vertimiento a las fuentes hídricas de los lodos residuales, generados durante el proceso de potabilización de agua en la PTAP del Centro Vacacional de CAFAM Melgar (CVM). Para el desarrollo de las estrategias se realizó un trabajo de descripción de las características que componen los lodos generados en las unidades de; coagulación, floculación, sedimentación, y filtración, dicha descripción se realizó mediante la recolección de información secundaria. De igual manera, se realizó la caracterización del agua cruda mediante pruebas de laboratorio, para posteriormente determinar los cálculos mensuales correspondientes a la generación de lodo seco y así realizar los cálculos hidráulicos que permitirán el diseño de los

lechos de secado, para finalmente establecer la hoja ruta adecuada en la disposición o aprovechamiento del material deshidratado.

Tabla de Contenido

Introducción 13

Planteamiento del Problema 15

Justificación 16

Objetivos 17

Objetivo General 17

Objetivos Específicos 17

Marco Referencial 18

Marco Teórico 18

Operaciones unitarias en el proceso de potabilización del agua 18

Lodos generados en las plantas de potabilización 19

Origen de los lodos 19

Características de los lodos con sales de aluminio 20

Tratamiento y disposición de lodos 21

Contaminantes presentes en los biosólidos 25

Clasificación de los biosólidos 26

Marco normativo 26

Diseño metodológico 28

Descripción de la zona 28

Información municipio de Melgar (Tolima). 28

Descripción física,..... 29

Hidrología 29

Descripción de las unidades operativas de la PTAP CVM 29

Descripción de las características de lodos 30

Metodología 31

Fase 1: Caracterización de agua cruda y descripción de las características de los lodos 31

Fase 2: Calculo teórico de producción de lodo seco..... 31

Fase 3: Diseño de los lechos de secado 31

Fase4: Disposición final de subproducto deshidratado..... 31

Resultados y Discusiones..... 33

Procesos Unitarios PTAP CVM..... 33

Captación 33

Ingreso y Aireación..... 33

Coagulación 34

Floculación..... 35

Sedimentación..... 35

Filtración..... 35

Desinfección 36

Almacenamiento 36

Cálculos y Diseño 36

Caracterización del agua cruda 36

Calculo teórico de producción de lodo 36

Diseño de lechos de secado..... 39

Conclusiones 45

Referencias..... 46

Lista de Tablas

Tabla 1 Características de los Lodos de Sales de Aluminio 20

Tabla 2 Resultados de la Caracterización de los Lodos Generados en la Planta de Potabilización "La Cajita" 30

Tabla 3 Parámetros Obtenidos de Producción Mensual de Agua 37

Tabla 4 Resultados de Producción de Lodo Seco Mensual 38

Tabla 5 Datos de Temperatura 40

Tabla 6 Alternativas para el Manejo de Material Obtenido 43

Lista de Figuras

Figura 1 Proceso de Tratamiento y Disposición de Lodos 23

Figura 2 Ubicación PTAP del CVM..... 28

Figura 3 Esquema de la Metodología Dividida en cuatro Fases..... 32

Figura 4 Unidades Operativas Planta de Tratamiento de Agua Potable CVM..... 33

Figura 5 Filtración y Desinfección 35

Figura 6 Plano de los Lechos de Secado..... 42

Lista de Apéndices

Apéndice A. Resultados de Medición Parámetros Fisicoquímicos de Bocatoma Sumapaz **... 48**

Apéndice B. Resultados de Medición Parámetros Fisicoquímicos de Bocatoma La Melgara y Agua Fría **..... 52**

Apéndice C. Plano de los Lechos de Secado **..... 53**

Introducción

El aumento de la población mundial de manera desmedida en las últimas décadas, al igual que el desarrollo desenfrenado de las diferentes técnicas de producción agrícola e industrial, son factores que han ejercido una presión sobre los recursos naturales disponibles en el planeta, hasta el punto de su agotamiento o contaminación, impactando de manera negativa tanto en los ecosistemas como en la calidad de vida de la población. Al ser el agua uno de los recursos naturales con mayor grado de afectación, debido a la gran presencia de contaminantes derivados de las diferentes actividades antrópicas, se hace importante llevar a cabo los procesos adecuados para su potabilización, de esta manera se garantizará un producto apto para el consumo. Durante el proceso de potabilización del agua se da la formación de lodos, los cuales deben tener un manejo adecuado evitando así el vertimiento directo a los cuerpos de agua, y reducir los impactos negativos sobre el medio ambiente y las comunidades que se abastecen de ellas.

La generación de lodos en las PTAP significa un reto en cuanto a su manejo, aprovechamiento, y disposición final, debido al contenido de agentes que pueden llegar a ser perjudiciales para la salud de la población y del medio ambiente, es por esto por lo que, en la medida de lo posible, lo más indicado es desarrollar e implementar estrategias que permitan el manejo adecuado de los mismos, ya sea optimizando los procesos de la PTAP o realizando la gestión adecuada del lodo generado.

Por esta razón, en el presente documento se plasman los lineamientos a seguir, frente al manejo de los lodos obtenidos como subproducto del proceso de potabilización de agua en la PTAP del CVM, se establecen y diseñan los lechos de secado como método de tratamiento, logrando la deshidratación de los mismos y permitiendo así, determinar las alternativas en cuanto

a su aprovechamiento o disposición, con el objetivo de dar cumplimiento a la normativa nacional en lo que respecta al manejo de biosólidos

Planteamiento del Problema

El Centro Vacacional Cafam Melgar (CVM), cuenta actualmente con una planta de potabilización, la cual es alimentada por dos puntos de captación distribuidos de la siguiente manera; un primer punto que se encuentra ubicado en el río Sumapaz, con un caudal de captación de 100 litros/segundo de acuerdo con la Resolución 0045 de 2018 y un segundo punto que se encuentra ubicado en la quebrada La Melgara con un caudal de captación de 6,9 litros/segundo de acuerdo con la Resolución 1387 de 2004. La planta abastece de manera constante todas las instalaciones del CVM, produciendo un caudal de agua tratada de 28 litros/segundo con un tiempo de operación de 20 horas/día.

Durante el proceso de potabilización se llevan a cabo procesos unitarios como; aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, de igual manera se usan algunos productos químicos como; cloro gaseoso, sulfato de aluminio y soda caustica para favorecer la eficiencia de las unidades operativas. Como resultado del proceso se obtiene un lodo residual, el cual se calcula en lodo seco por un valor de 1161,65 kg como promedio mensual, cada vez que se realiza la purga de los sedimentadores y el retrolavado de los filtros, se hace un vertimiento a la quebrada La Melgara, lo cual ocasiona bancos de arena y lodo, afectación de la organismos acuáticos presentes en ella, aumento de la turbiedad, deteriorando el recurso hídrico del cual se abastecen a algunas comunidades ubicadas aguas abajo

La utilización de agentes coagulantes de origen químico, como el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), en el proceso de potabilización, ocasiona que los lodos producidos sean altamente tóxicos para las diferentes especies de fauna y flora, esto debido a que el aluminio es un elemento que se bioacumula afectando la cadena trófica y así mismo las comunidades que realizan captación aguas abajo.

Justificación

El desarrollo del presente proyecto busca dar solución a la problemática ambiental que se está presentado sobre la quebrada La Melgara, a causa del vertimiento indiscriminado de los lodos producidos durante el proceso de potabilización del agua que se lleva a cabo en la PTAP del CVM, puesto que dicho vertimiento genera una alteración de las características propias de la fuente hídrica en mención, afectando en gran medida los organismos acuáticos presentes en ella y deteriorando el recurso del cual se abastecen algunas comunidades quebrada abajo, es por esta razón que se hace necesario establecer un proceso que permita realizar el tratamiento adecuado de los lodos, con el fin de disminuir el impacto sobre las comunidades biológicas y la población, y de esta manera plantear las alternativas que permitan realizar el aprovechamiento o disposición del material obtenido al final del proceso.

Objetivos

Objetivo General

Establecer la alternativa para la gestión de los lodos producidos durante el proceso de potabilización de agua en el centro vacacional Cafam Melgar.

Objetivos Específicos

- Describir los procesos unitarios que componen el sistema de potabilización de agua.
- Diseñar los lechos de secado de los lodos obtenidos durante el proceso de potabilización.
- Establecer el manejo que se dará al material obtenido de la deshidratación de los lodos.

Marco Referencial

Marco Teórico

Operaciones unitarias en el proceso de potabilización del agua

El proceso de potabilización del agua, es una suma procesos unitarios que permiten la remoción de los diferentes compuestos que puedan llegar a estar presentes en el agua y que debido a su concentración no la hacen apta para consumo, dentro de los procesos unitarios con que se cuenta en una planta de potabilización encontramos sistemas físicos como el cribado, que tiene como finalidad impedir el paso de material de tamaño considerable que puedan llegar a ocasionar algún problema en las bombas se succión, para esto, se realiza la instalación de rejillas en la zona de captación; la aireación, mediante cual se busca la degradación de la materia orgánica, remoción de hierro (Fe), manganeso (Mn), y otras sustancias volátiles, que puedan llegar a alterar las características organolépticas del agua (olor, sabor). La coagulación y la floculación son dos procesos unitarios importantes en la potabilización del agua, puesto que mediante la agregación de un agente coagulante se obtiene la desestabilización de las partículas coloidales y la aglomeración de las mismas, dando como resultado la formación de flóculos de tamaño considerable que posteriormente se sedimentan permitiendo así su posterior remoción. Posteriormente se encuentra la filtración; donde se realiza el paso del fujo de agua por un lecho filtrante compuesto por una variedad de materiales porosos o granulares que permitan retener aquellas partículas suspendidas que no pudieron ser removidas durante los procesos anteriores. El proceso final dentro de la potabilización del agua es la desinfección, el cual consiste en la aplicación de un agente químico que permita la destrucción de los microorganismos presentes en el agua y que de no ser eliminados o inactivados pueden llegar a ocasionar la diseminación de enfermedades hídricas.

Lodos generados en las plantas de potabilización

Los lodos pueden llegar a definirse como un material solido que presenta en su contenido un porcentaje alto de humedad que puede llegar a variar, los lodos se establecen como el residuo que resulta de los diferentes procesos de potabilización y su composición y cantidad dependen de factores como; las características del agua a potabilizar y el tratamiento aplicado (Romero Rojas, 2006).

En las plantas de potabilización de agua (PTAP), que cuentan con procesos unitarios de; coagulación, floculación, sedimentación y filtración, se generan lodos en todos los procesos, excepto en la coagulación, debido a que, en esta, se realiza la desestabilización de las partículas coloidales, mediante la agregación de un coagulante y la agitación del agua por medio de la mezcla rápida.

Origen de los lodos

En los diferentes procesos que se realizan en una planta de potabilización de agua, se da la formación de lodos, teniendo en cuenta que es en los sedimentadores y filtros en donde se acumulan en mayor medida, para el caso de los sedimentadores ocurre que es en ellos en donde los flóculos formados, descienden por acción de la gravedad y en los filtros se obtienen durante el lavado de los mismos, de igual manera la formación de los lodos se puede dar en el proceso de coagulación y floculación o por la agregación en algunos casos de carbón activado en polvo. En cuanto a su composición, cabe mencionar la presencia de diferentes materiales y compuestos como; residuos de procesos de ablandamiento, residuos de la oxidación de Fe, Mn, la utilización de permanganato potásico, y material arrastrado en el agua cruda como; arcillas, arenas, y limos, los lodos obtenidos en las plantas de potabilización suelen denominarse lodos de poca concentración y dependiendo sus características también son llamados lodos de alumbre, debido

a que en el procesos de potabilización se utiliza el sulfato de aluminio como coagulante (Ramírez Quirós, 2008).

Características de los lodos con sales de aluminio

Teniendo en cuenta que una de las sustancias más utilizadas como agente coagulante en el proceso de potabilización del agua es: el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), debido a la facilidad a la hora de obtenerlo; por su bajo costo, fácil almacenamiento, la no necesidad de infraestructura compleja para su dosificación. Esta sal de aluminio permite la sedimentación de los sólidos que se encuentran en suspensión en el agua, los cuales debido a su tamaño necesitan un tiempo más largo para sedimentar, con la agregación del sulfato y su disociación se logra la neutralización de las cargas de las partículas coloidales, permitiendo su aglomeración, de esta manera se da la producción de flóculos que posteriormente se precipitaran, obteniendo así los lodos producidos durante el proceso de potabilización. Los lodos producidos, cuentan con unas características en su composición que hacen que sea de importancia su adecuado manejo con el fin de evitar su vertimiento a fuentes hídricas lo cual conllevaría al deterioro y contaminación de estas. A continuación, se presenta una tabla con las características de los lodos producidos en el proceso de potabilización del agua usando sales de aluminio como coagulante.

Tabla 1

Características de los Lodos de Sales de Aluminio

Características de los Lodos de Sales de Aluminio	
pH	6-8
DBO	30-300 mg/L
DQO	30-5.000 mg/L
Sólidos	1%-2% (típico 1%)

Características de los Lodos de Sales de Aluminio	
Color	Gris a carmelita
Olor	Inodoro
Volumen	20-50 L/m^3
Conteo bacterial	Alto
Sedimentabilidad	50% en 8 h
Secado	Dos días sobre los lechos de arena para 10% de solidos

Nota. Adaptado de Romero Rojas (2006)

Tratamiento y disposición de lodos

El tratamiento de los lodos es un aspecto de significativa importancia, debido a que un mal manejo de estos puede llegar a producir un impacto negativo de grandes proporciones, sobre el medio ambiente, ocasionando así una afectación a la fauna y la flora de la zona establecida para su descarga, es por este motivo que se hace de vital importancia establecer un método que permita el tratamiento y la disposición final de este subproducto.

El Decreto 1287 de 2014 define la estabilización de los lodos como el proceso que comprende los tratamientos destinados a controlar la degradación biológica, la atracción de vectores y la patogenicidad de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales acondicionándolos para su uso o disposición final. Por otra parte, la Resolución 0330 de 2017 (Artículo 125), hace especial énfasis en la no descarga o almacenamiento de los lodos sin un tratamiento previo y de igual manera establece los procesos que se pueden llevar a cabo para dicho proceso:

Homogenización:

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

Espesamiento de lodos

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

Deshidratación por lechos de secado

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

Deshidratación por lagunas de secado

Es una técnica manual en donde se deben tener mínimo dos lagunas, considerándose que ocurren de manera implícita los procesos de homogeneización, espesamiento y deshidratación. Diseñada a partir del parámetro de carga de sólidos comprendido entre 40 $kg/m^2/d$ para regiones

húmedas y 80 kg/m^2/d para regiones secas; la profundidad de la laguna debe estar entre 0.50 y 1.20 metros.

Deshidratación mecánica

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

Tratamiento sobre el suelo

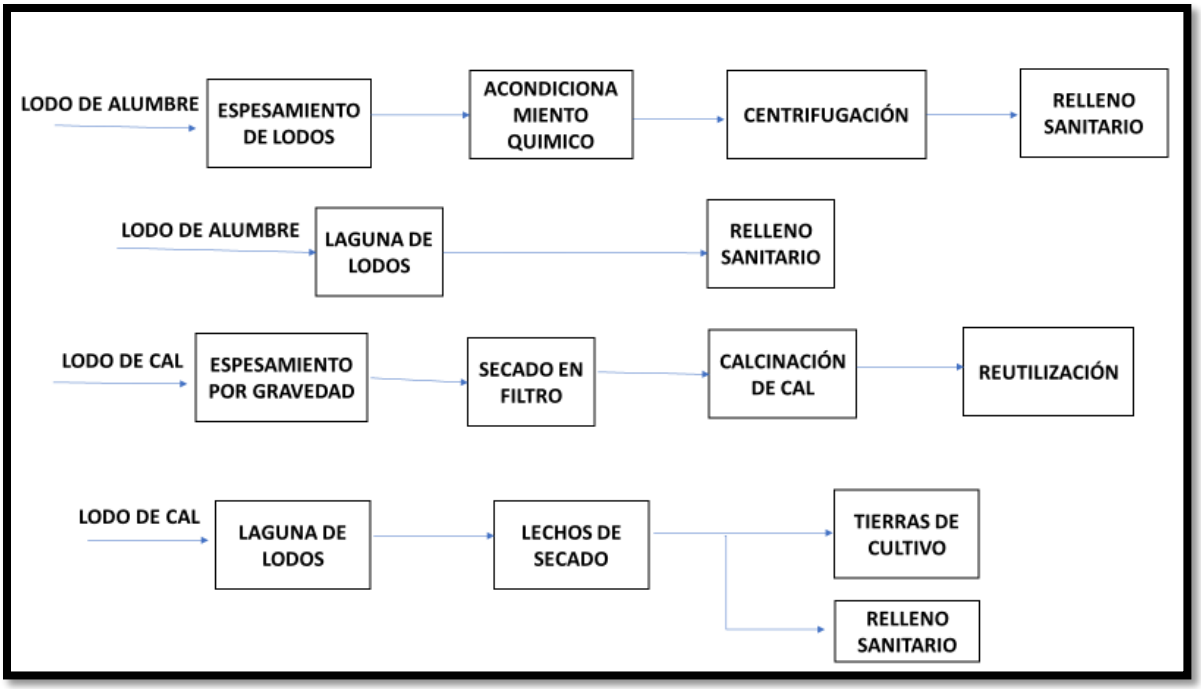
La disposición de los lodos en el suelo es una alternativa que se contempla muy a menudo, pero la cual se debe realizar teniendo en cuenta las características de los lodos, debido a que algunos componentes como el Aluminio, pueden llegar a deteriorar los suelos en donde sean aplicados, por otra parte, de acuerdo a la literatura se tiene que los lodos provenientes de procesos en donde se les a realizado la agregación de cal, suelen ser usados en suelos ácidos, permitiendo la neutralización del pH del suelo y mejorando sus características.

Estabilización

La estabilización se realiza con el fin de disminuir la actividad microbiana, lo cual conlleva a la putrefacción del material y el desprendimiento de olores ofensivos, así mismo se busca la eliminación de microorganismos patógenos, la estabilización se puede realizar mediante la aplicación de procesos aerobios, anaerobios, estabilización química entre otros (Oropeza García, 2006).

Figura 1

Proceso de Tratamiento y Disposición de Lodos



Nota. Adaptado de Romero Rojas (2006).

Biosólidos

Siendo los biosólidos el material resultante de la estabilización de los lodos producidos durante los procesos de tratamiento de las aguas residuales, quienes contienen en su gran mayoría un componente orgánico bastante alto, el cual puede llegar a ser aprovechado en otro tipo de labores, de igual manera es cierto que en dicho material se pueden llegar a encontrar algunas sustancias problemáticas como; metales pesados, contaminantes orgánicos y en la mayoría de los casos; agentes patógenos e infecciosos, la presencia de estos componentes en el material no es de extrañar, debido a su origen. Se debe saber que el correcto manejo de los lodos y la utilización de un proceso eficiente en la estabilización de estos puede llegar a ser beneficioso, puesto que de esta manera se logra potenciar el valor de los componentes útiles y a su vez disminuir los impactos negativos que puedan llegar a generar aquellos que son catalogados como dañinos o peligrosos (Aldana Tique y Pérez Rojas, 2017).

De acuerdo con lo anterior el Decreto 1287 de 2014 define los biosólidos como el producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso. De igual manera se deja en claro que no son biosólidos las escorias y cenizas producto de la oxidación o reducción térmica de lodo, así como los residuos que se retiran de los equipos e instalaciones de la fase preliminar del tratamiento de aguas residuales, ni los provenientes de dragados o limpieza de sumideros.

Contaminantes presentes en los biosólidos

El nivel de calidad de los biosólidos depende de factores tales como; las características de las aguas tratadas, la eficiencia del método empleado para su tratamiento y los contaminantes presente en él, en cuanto a los contaminantes, hay algunos que tienen más relevancia que otros, en este orden de ideas, se encontró que los cuatro grupos más relevantes son; metales pesados, debido a su capacidad de bioacumulación y biomagnificación a lo largo de la cadena trófica, otro grupo importante son los nutrientes y la materia orgánica, en donde el potencial de eutroficación es preocupante, pesto que la afectación se puede dar no solo en aguas superficiales, sino también en aguas subterráneas, los contaminantes orgánicos como plaguicidas, solventes industriales, colorantes o agentes tensoactivos, son una preocupación debido al grado de afectación que pueden llegar a producir sobre el medio ambiente y la salud humana, el último grupo de contaminantes son los agentes patógenos, en donde los más relevantes son las bacterias, virus y protozoos los cuales son los responsables de la mayor cantidad de enfermedades hídricas a nivel mundial (LeBlanc et al., 2006).

Clasificación de los biosólidos

La normativa colombiana establece por medio del Decreto 1287 de 2014 (Articulo 5), los valores máximos permisibles para la categorización de los biosólidos en donde se tienen en cuenta dos criterios, el primero corresponde a compuestos químicos y metales (As, Cd, C, Cr, Hg, Mb, Ni, Pb, Se, Zn), el segundo se refiere a; microbiológicos (Coliformes fecales, huevos de helmintos, salmonella, virus entéricos), y los clasifica en dos categorías; A y B con el fin de establecer las alternativas de uso que se les pueda llegar a dar, los clasificados en la categoría A, se sueles usar en labores de jardinería, separadores viales y demás zonas verdes, así como los usos establecidos para la categoría B, los clasificados en esta última se podrán utilizar en, plantaciones forestales, labores de agricultura, recuperación de suelos, rellenos sanitarios, y como insumos en procesos de elaboración de abonos y fertilizantes.

Marco normativo

Para el desarrollo del trabajo se tuvo en cuenta la normativa vigente y su incidencia, se contempló inicialmente el Decreto 2811 de 1974 por el cual se establece el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, ya que el proyecto involucra el recurso agua y las afectaciones que los lodos residuales pueden llegar a producir en el medio ambiente si se vierten de manera indiscriminada, así mismo se tuvo en cuenta el Decreto 475 de 1998 por medio del cual se expiden las normas técnicas de calidad de agua potable, teniendo en cuenta que el trabajo se desarrolla en torno a una PTAP y la generación de subproductos durante el proceso de potabilización, otra de las normas consideradas es el Decreto 1287 de 2014, por medio del cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, puesto que el trabajo se centra en el manejo de los lodos producidos durante el proceso de potabilización y se hace necesario extraer

información sobre el manejo de biosólidos, debido a que el proyecto busca frenar el vertimiento de los lodos a una fuente hídrica se hizo necesario contemplar lo establecido en la Resolución 0631 de 2015, por la cual se establecen los valores limites máximo permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales ya los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones, en cuanto al diseño de los lechos de secado se tomó como punto de referencia la Resolución 0330 de 2017, por medio de la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS.

Diseño metodológico

Inicialmente se realizó una descripción del lugar en donde se encuentra ubicada la planta de potabilización (PTAP), al igual se describen la cuenca de donde se realiza la captación del agua y las unidades operativas de la PTAP. Teniendo en cuenta que no se realizó una caracterización de los lodos, debido al alto costo de los análisis de laboratorio, se utilizó información secundaria para realizar el diseño de los lechos de secado como proceso para el manejo de los lodos y posteriormente se planteó la alternativa más indicada en la disposición de estos.

Descripción de la zona

Información municipio de Melgar (Tolima).

Figura 2

Ubicación PTAP del CVM

Descripción física,

Melgar es la puerta de oro del turismo en el centro del país, gracias a su posición geográfica que brinda un clima cálido a lo largo del año, un bosque seco tropical y fuentes hídricas, como el río Sumapaz y la quebrada la melgara entre otros afluentes. (Alcaldía Municipal de Melgar, 2017).

Hidrología

La red de drenaje del municipio de Melgar pertenece en su totalidad por el río Magdalena, a través de las subcuencas de los ríos Sumapaz y Cunday (Alcaldía Municipal de Melgar, 2017). Siendo el río Sumapaz la fuente hídrica de donde se realiza la captación del agua que se potabilizará en la planta de Cafam Melgar.

Descripción de las unidades operativas de la PTAP CVM

La PTAP del CVM, cuenta con un proceso convencional para la potabilización del agua, en donde se usa como agente de coagulación el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), en la primer parte del proceso se encuentra la aireación, esta se realiza con el fin de disminuir la concentración de hierro presente en el agua de entrada, posteriormente se encuentra la coagulación, en donde se realiza la aplicación del sulfato de aluminio aprovechando el resalto hidráulico, en esta parte se da la desestabilización de las partículas, para posteriormente llegar a la unidad de floculación, en donde las partículas desestabilizadas se aglomeraran, dándose así la formación de flóculos que se precipitaran en la unidad de sedimentación, el paso a seguir es la filtración, los filtros de la planta contienen un sustrato conformado por: arena, grava y carbón activado, permitiendo de esta manera mejorar las características del agua, como ultimo paso se encuentra la cloración, para esto se utiliza gas cloro, garantizando el efecto residual requerido durante el transporte del agua por la tuberías de distribución.

Descripción de las características de lodos

En base a la información secundaria recolectada, se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 2

Resultados de la Caracterización de los Lodos Generados en la Planta de Potabilización "La Cajita"

Parámetro	***Técnica De Análisis***	***Resultado***
Aluminio total	Espectrofotometría de A. A	696775mg/Kg Al
Calcio	Espectrofotometría de A. A	367 mg/Kg Ca
CIC	Volumétrico	3,05 cmol/Kg
Fosforo total	Colorimétrico-azul de molibdeno	572,1 mg/Kg P
Magnesio	Espectrofotometría de A. A	803 mg/Kg Mg
pH	Electrométrico	4,19 unidades
Potasio	Espectrofotometría de A. A	319 mg/Kg K
Sodio	Espectrofotometría de A. A	361 mg/Kg Na
Zinc	A.A de llama directa aire – acetileno	111 mg/Kg Zn
Carbono Orgánico Total	Colorimetría	1,67 (p/p)
Humedad	Gravimétrico	44,70 %
Nitrógeno Total KJELDAHL	Titulometría	1562 N/Kg

Nota. CIC: Capacidad de intercambio catiónico. Adaptado de Araque Tamayo y Monsalve Guzmán (2018).

Metodología

Fase 1: Caracterización de agua cruda y descripción de las características de los lodos

Para la caracterización del agua cruda, se tomaron muestras en los dos puntos de captación, cumpliendo con la metodología de muestreo establecida por el IDEAM, las cuales posteriormente fueron analizadas en el laboratorio ACONPIS. En cuanto a la descripción de las características de los lodos, se recurrió a información secundaria, en base a un trabajo de investigación realizado en la planta de potabilización La Cajita en el municipio de Melgar, teniendo en cuenta que las fuentes de captación, los procesos unitarios y el coagulante, son los mismos que se utilizan en la planta del CVM.

Fase 2: Calculo teórico de producción de lodo seco

Para realizar el cálculo teórico de los lodos producido en la planta, se utilizó la formula planteada por Romero Rojas (2006), para llevar a cabo los cálculos se tomaron datos de turbiedad, dosis de descarga coagulante, y caudal de agua cruda, los datos se recolectaron por un periodo de seis meses.

Fase 3: Diseño de los lechos de secado

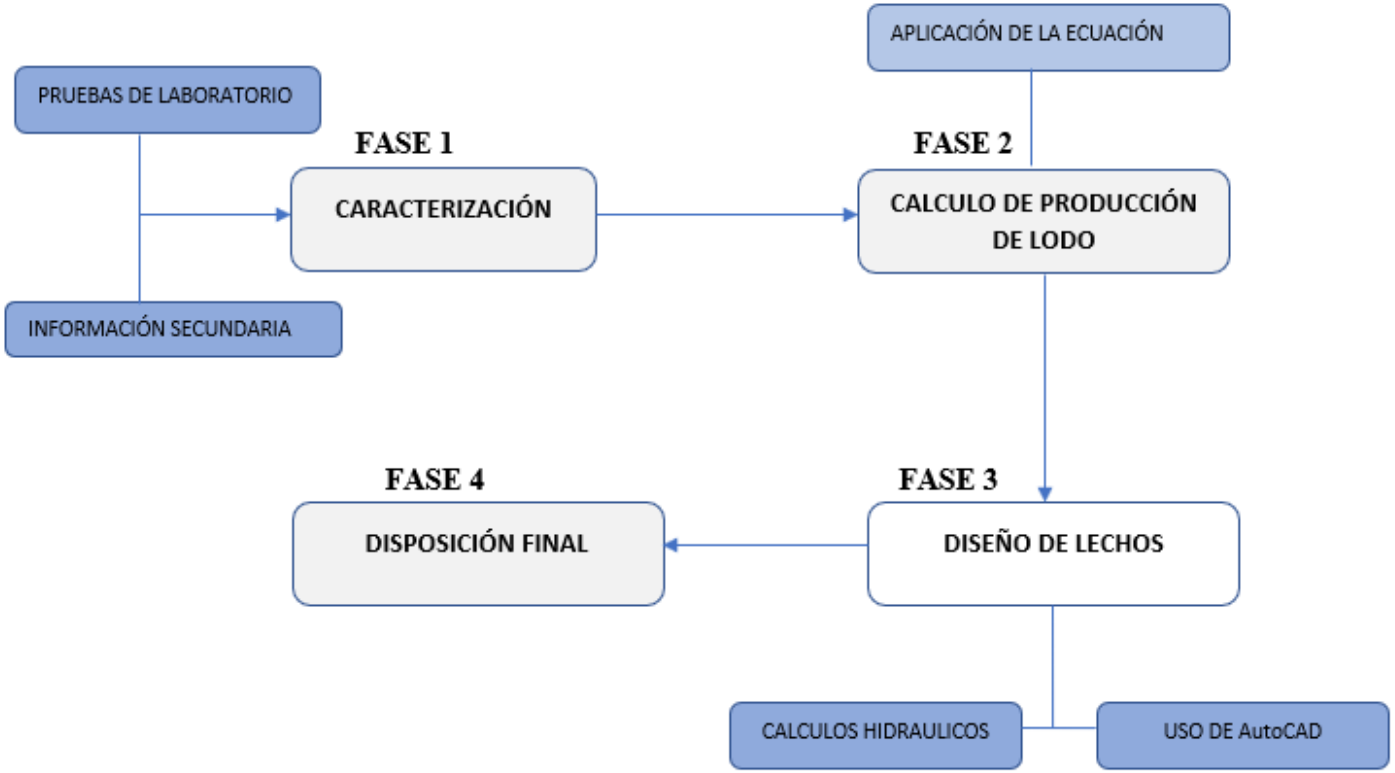
Para el diseño de los lechos de secado se tuvo en cuenta las formula propuestas por Valencia López (2015), y mediante la utilización de un software de diseño asistido por computador (AutoCAD), se realiza el modelo de los lechos.

Fase4: Disposición final de subproducto deshidratado

Una vez conocidas las características de los lodos y definido el diseño de los lechos de secado, se dictan las recomendaciones que pueden llegar a darse para la disposición final y aprovechamiento del subproducto.

Figura 3

Esquema de la Metodología Dividida en cuatro Fases



Resultados y Discusiones

Procesos Unitarios PTAP CVM

Captación

La planta de potabilización se abastece de dos puntos de captación; el primer punto está ubicado en el río Sumapaz, con un permiso de captación de 100 L/seg, en donde se cuenta con un sistema de bombeo conformado por dos bombas con las siguientes características: marca KSB, tipo Sewabloc K 200-318G H 200L 04, n = 1479 rpm, eficiencia del 72,2% y potencia de 23,04 Kw, con una tubería de succión de 8´´ en cada una de las bombas y tubería de impulsión de 8´´. El segundo punto está ubicado en la quebrada La Melgara, con un permiso de captación de 6,79 L/seg, el ingreso del agua se realiza a través de una bocatoma de fondo con rejilla, para posteriormente ser transportada mediante una línea de aducción de 6´´. Uno de los principales inconvenientes en cuanto al agua captada se presenta en la obtenida en del río Sumapaz, debido a su alto contenido de hierro (Fe), lo cual hace que sea necesario un proceso que permita disminuir la concentración de dicho metal.

Ingreso y Aireación

La medición del caudal que ingresa a la planta se realiza mediante un macromedidor, el agua captada en el río Sumapaz se hace pasar por una torre de aireación de bandejas con un lecho compuesto por carbón activado, a fin de reducir la cantidad de hierro con que llega y de esta manera optimizar el proceso siguiente, por el contrario, el agua captada de la quebrada La Melgara ingresa directamente a la planta, puesto que de acuerdo a sus características no necesita un proceso de aireación

Figura 4

Unidades Operativas Planta de Tratamiento de Agua Potable CVM

Aireación	Coagulación
Floculación	**Sedimentación**

Coagulación

Actualmente se realiza una precloración en la entrada de la planta, con el fin de oxidar la mayor cantidad hierro y materia orgánica posible. El proceso de coagulación se realiza en la entrada de la planta, el coagulante utilizado para este caso es sulfato de aluminio tipo B, aprovechando un resalto hidráulico se realiza la dosificación del coagulante, por medio de un tornillo sin fin que se gradúa mediante un sistema electrónico. La coagulación se da en el inicio, aprovechando la ubicación de un sedimentador primario de serpentín, en este trayecto se da la formación de floculo y se presenta la sedimentación de este (Figurar 4).

Floculación

También llamada mezcla lenta, la planta cuenta con dos floculadores mecánicos de paleta, verticales, los cuales funcionan mediante dos motores que se mueven con una cadencia de 40 rpm, el flujo de agua llega a este punto luego de pasar por un canal de alivio, la formación de flóculo es baja, debido a que la mayor formación de este se da en el sedimentador primario, de igual manera en este queda sedimentado gran parte de los flóculos formados (Figura 4).

Sedimentación

La planta cuenta con 3 sedimentadores convencionales, ubicados en paralelo con una capacidad de 268,2 m^3 cada uno, el lavado de estos se realiza con una periodicidad semestral (Figurar 4).

Filtración

Se cuenta con un sistema de filtración que consta de tres unidades ubicadas en paralelo con una capacidad de 33,9 m^3 cada uno, su lecho está compuesto por arena, antracita y grava. Cuentan con un sistema de retrolavado y se realiza en promedio cada 3 días, dependiendo de la turbiedad con que llegue el agua (Figura 5).

Figura 5

Filtración y Desinfección

Filtración	**Desinfección**

Desinfección

El proceso de desinfección se realiza mediante la aplicación de cloro gaseoso, por dosificación directa al paso de agua, antes de iniciar la distribución (Figura 4).

Almacenamiento

Para el almacenamiento se cuenta con 6 tanques, desde los cuales se realiza la distribución a todo el centro vacacional.

Cálculos y Diseño

Con el fin de dar cumplimiento al segundo objetivo específico, se realizó la caracterización del agua cruda, para esto se tomaron muestras de los dos puntos de captación; río Sumapaz y quebrada La Melgara, de esta manera se logra conocer las características del agua que se utilizará en el proceso de potabilización y así mismo se realizaran los cálculos necesarios para el diseño de los lechos de secado, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas establecidas en el RAS

Caracterización del agua cruda

Para la caracterización del agua cruda, se tomaron las muestras en los dos puntos de captación y posteriormente se realizaron los análisis de laboratorio, los resultados se encuentran en el Apéndice A y Apéndice B.

Calculo teórico de producción de lodo

Para el cálculo teórico se utilizó la siguiente formula, la cual fue propuesta por Romero Rojas (2006):

Lodo seco de alumbre = Turbiedad + Precipitado de aluminio

$$w = (s + 0.3D) * Q * 103$$

Donde:

W = kg de lodo seco de alumbre

S = turbiedad del agua cruda en NTU

D = dosis de alumbre en kg/l

Q = metros cúbicos de agua tratada

Tabla 3

Parámetros Obtenidos de Producción Mensual de Agua

Mes	Caudal (Lps)	Turbiedad (NTU)	Dosis de Descarga (G/Min)
Enero	30	7,6	40,7
Febrero	30	22,8	73,9
Marzo	30	27,4	58,2
Abril	30	11,5	41,3
Mayo	30	10,1	38
Junio	30	11,5	41,6

Tabla 4

Resultados de Producción de Lodo Seco Mensual

Mes	Agua Tratada (m^3/mes)	Agua Tratada (L/mes)	Turbiedad (UNT)	Q (m^3/día)	Dosis de $Al_2(SO_4)_3$ (kg/L)	Lodo Seco (Kg)	Dosis de $Al_2(SO_4)_3$ (g/min)	kg/mes $Al_2(SO_4)_3$	Dosis de $Al_2(SO_4)_3$ (kg/día)
Enero	80.352	80.352.000	7,6	2.592	2,26E-05	610,67	40,7	1.816,85	58,61
Febrero	72.576	72.576.000	22,8	2.592	4,10E-05	1.654,73	73,9	2.979,65	106,41
Marzo	77.760	77.760.000	27,4	2.592	3,23E-05	2.130,62	58,2	2.514,24	83,81
Abril	77.760	77.760.000	11,5	2.592	2,29E-05	894,24	41,3	1.784,16	59,47
Mayo	77.760	77.760.000	10,1	2.592	2,11E-05	785,38	38,0	1.641,60	54,72
Junio	77.760	77.760.000	11,5	2.592	2,31E-05	894,24	41,6	1.797,12	59,90

Diseño de lechos de secado

En base al RAS (Titulo E), se tomaron las siguientes consideraciones técnicas: los muros laterales deben tener un borde libre entre 0,5 – 0,9 m por encima de la arena, para lodos primarios químico, el área (m^2/cap) para lecho sin cobertura está contemplado en 0,14 – 0,23, para lecho con cobertura se contempla en; 0,09 – 0,173, en cuanto a los drenajes establece que sean capas de grava y arena con un espesor entre 200-460 mm para la grava y 300-460 mm para la arena, igualmente el diámetro para la grava esta entre 3 – 25 mm y los granos de arena deben tener un tamaño efectivo entre 0,3 – 0,75 mm, para algunos casos se puede optar por el uso de antracita o grava fina con tamaño efectivo de 0,4 mm a cambio de la arena. Para la recolección de los percolados se realiza a través de tuberías de plástico con un diámetro no menor a 100 mm y una pendiente no menor del 1%; deben espaciarse entre 2,5 – 6 m y se localizan por debajo de la capa de grava con no menos de 150 mm de este material por encima de ellas. Para el diseño de los lechos de secado se utilizaron las fórmulas propuestas por Valencia López (2015):

Carga de Sólidos que ingresa al sedimentador (C):

$$C = Q * SS$$

Dónde:

Q = 30 (L/seg)

SS = 15,1 (mg/L)

Reemplazando:

$$C= (30*15,1) = 39,13 \text{ Kg/d}$$

En donde el valor de SS corresponde al promedio de los seis meses. Posteriormente se procedió a realizar el cálculo de la masa de solidos que conforman los lodos (Msd):

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

Reemplazando:

$$Msd = (0,5*0,7*0,5*39,13) + (0,5*0,3*39,13) = 12,72 \text{ Kg/d}$$

Luego se procedió a realizar el cálculo del volumen diario de lodos digeridos (Vld):

$$Vld = (Msd / \rho lodo * (\%sólidos / 100\%))$$

Donde:

ρ lodo = Densidad del lodo (Kg/L)

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

Para la densidad (ρ) del lodo se tomó el valor usado por Romero Rojas (1999): 1030 kg/m^3 (1,03 kg/L)

Reemplazando:

$$Vld = (12,72 / 1,03*(10/100)) = 123,49 \text{ L/d}$$

Se procedió a realizar el cálculo del volumen de lodos a extraerse (Vel):

$$Vel = Vld * Td / 1000$$

Dónde: Td = Tiempo requerido para la digestión de lodos (d). Varía según la temperatura.

La temperatura se tomó en base a los datos suministrados por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS y CEPIS, 2005):

Tabla 5

Datos de Temperatura

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

Nota. Adaptado de OPS y CEPIS (2005).

Reemplazando:

$$Vel = 123{,}49*30/1000 = 3{,}88\ m^3$$

Luego se realizó el cálculo para el área del lecho de secado (Als):

$$Als = Vel/\ Ha$$

Donde:

Ha: Profundidad de aplicación, que para este caso se tomaron los valores establecidos en la Resolución 0330 de 2017, en su artículo 125.

Reemplazando:

$$Als = 3{,}88/0{,}6 = 6{,}47\ m^2$$

Se procedió a realizar el cálculo del área individual de los lechos de secado (Alsi):

$$Als_i = Als\ /N°Lechos$$

Reemplazando:

$$Als_i = 6{,}47/4 = 1{,}67\ m^2$$

Por último, se realizó el cálculo de la longitud del lecho de secado (L):

$$L = Alsi\ /\ b$$

Profundidad total de cada lecho: 1,97 m

Donde:

b = 1 metro (Valor que se asumió)

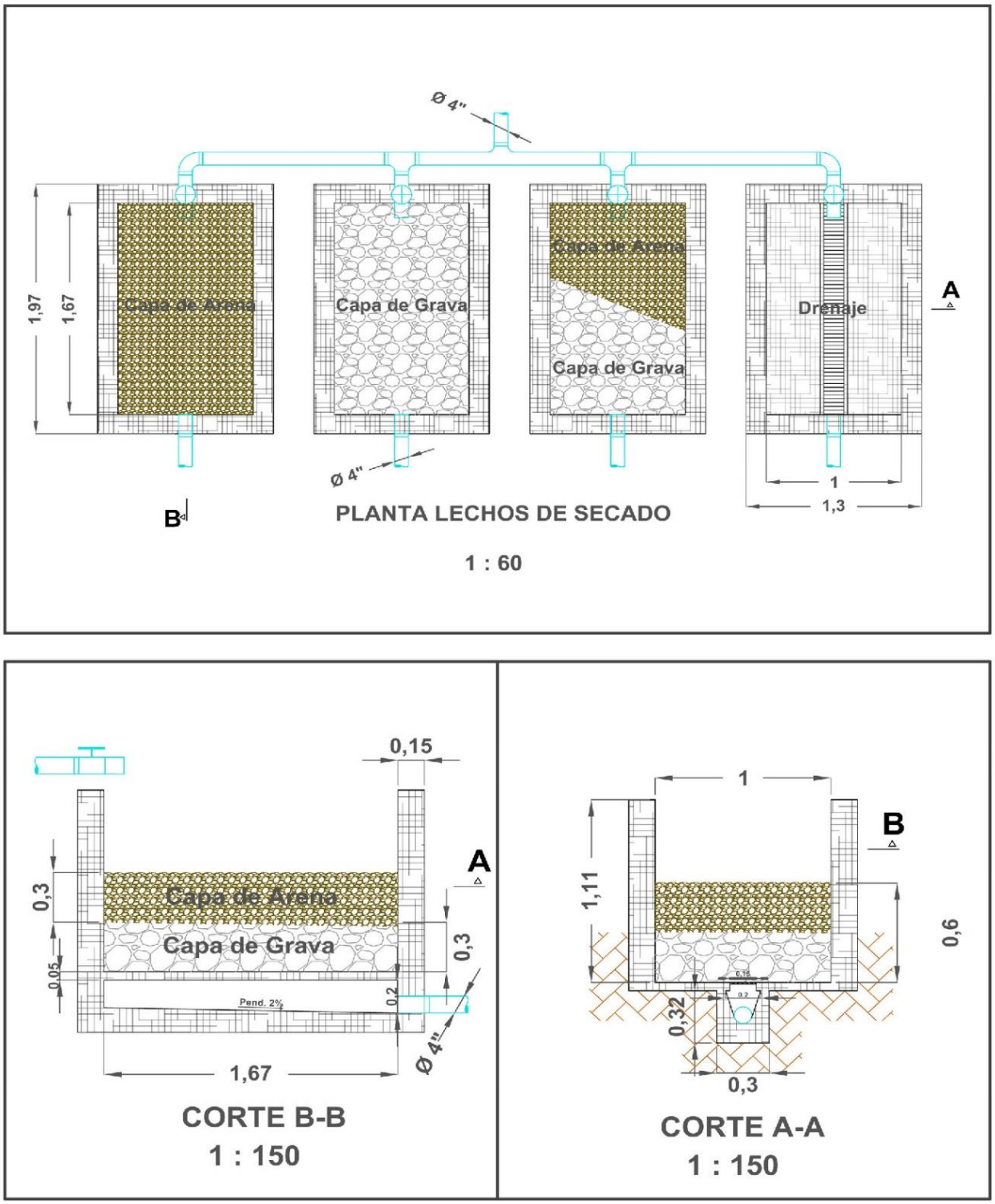
Reemplazando:

$$L = 1{,}67/1 = 1{,}67\ m$$

En la Figura 6 se puede visualizar el plano, mientras que en el Apéndice C se puede observar el plano rotulado completo.

Figura 6

Plano de los Lechos de Secado



Nota: Unidades de cotas en metros (m). Autoría propia, elaborado desde AutoCAD 2020.

Luego de realizar la búsqueda y recopilación de información tanto primaria como secundaria, que permitió realizar los cálculos hidráulicos para el diseño de los lechos de secado, se plantean las siguientes alternativas para el aprovechamiento y disposición del material obtenido:

Tabla 6: *Alternativas para el Manejo de Material Obtenido*

Alternativas para la disposición de material obtenido	
Alternativa 1	Producción de lodo + Estabilización + Deshidratación + Vermicompostaje. + Aprovechamiento en labores de jardinería
Alternativa 2	Producción de lodo + Estabilización y recuperación del sulfato de aluminio + Deshidratación + Aprovechamiento para labores de jardinería y labores de restauración
Alternativa 3	Producción de lodo residual + Deshidratación + Disposición en relleno sanitario

Dentro de las recomendaciones planteadas para la disposición del producto final se determina que la más adecuada para el CVM es la primera, puesto que dentro de las instalaciones ya se cuenta con un proceso de vermicompostaje, al cual solo se le debería hacer una optimización y la inversión económica es baja, de igual manera se lograría el aprovechamiento del producto final en las labores de jardinería que se desarrollan dentro de las instalaciones. La segunda alternativa se descartó debido a que conlleva una inversión económica muy alta para la construcción de la infraestructura , los equipos e instrumentos requeridos en la recuperación del sulfato, la tercer alternativa se descarta debido a que la disposición del producto final en un relleno sanitario no permitiría el aprovechamiento del mismo, otro de los factores por lo cual se descarta esta alternativa, corresponde a que en la mayoría de los casos, los rellenos sanitarios no cuentan con los procesos adecuados para el manejo de los contaminantes (metales) allí presentes. Por otro lado, mediante la revisión de bibliografía se evidencio la inconsistencia en algunos

apartados mencionados en el trabajo de investigación realizado en la PTAP La Cajita del municipio de Melgar, en donde uno de los apartados corresponde al diseño de los lechos de secado, puesto que en dicho apartado solo se relacionan las fórmulas a utilizar pero en ningún caso se realiza un cálculo hidráulico que permita corroborar la veracidad de la información, así como la inclusión de una premisa que no fue definida y que según los autores fue formulada por Romero Rojas (2006) en su libro; *Purificación del agua*, pero luego de revisar la fuente primaria no se evidencio la existencia de dicha premisa.

Conclusiones

Durante lo expuesto en el desarrollo de este trabajo se puede concluir que:

El manejo adecuado de los lodos producidos durante el proceso de potabilización del agua en el CVM, permitirá mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente y las comunidades, teniendo en cuenta que para este caso se diseñaron los lechos de secado como tratamiento de dicho subproducto, y se plantearon las alternativas de aprovechamiento o disposición del producto deshidratado, se propone la realización de un estudio más detallado, en este caso que permita la caracterización completa de los lodos producidos en la planta, mediante el monitoreo de los procesos por un periodo de tiempo más largo y así mismo la ejecución de pruebas de laboratorio para la determinación exacta de las cantidades de metales, presentes en ellos y de esa manera optar por la alternativa más idónea en cuanto al aprovechamiento del residuo generado, así mismo se encontraron algunas inconsistencias en uno de los trabajos de investigación consultados, puesto que no se realizó el diseño de las unidades de secado propuestas como alternativa en el manejo de los lodos generados en la PTAP La Cajita del municipio de Melgar, se insta a seguir en la búsqueda de procesos que peritan realizar un mayor aprovechamiento de los subproductos obtenidos durante la potabilización del agua.

Referencias

Alcaldía Municipal de Melgar – Tolima. (2017). Nuestro Municipio. Recuperado el 10 de octubre del 2020 de http://www.melgar-tolima.gov.co/municipio/nuestro-municipio

Aldana Tique, A. J. y Pérez Rojas, R. A. (2017). *Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento de lodos en una PTAP convencional. Caso de estudio: planta de tratamiento de agua potable de El Espinal – Tolima* [Tesis de Pregrado, Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/702

Araque Tamayo, D. C. y Monsalve Guzmán, L. V. (2018). *Evaluación de alternativas para el manejo y disposición final de los lodos generados en la planta de potabilización del municipio de Melgar- Tolima* [Tesis de Pregrado, Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/817/

LeBlanc, R. J., Matthews, P. y Richard, R. P. (2006). *Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge, and Biosolids Management: Moving Forward the Sustainable and Welcome Uses of a Global Resource*. United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT). https://www.pseau.org/outils/ouvrages/un_habitat_atlas_excreta_wastewater_sludge.pdf

Organización Panamericana de la Salud y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS). (2005). *Guías para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización*. Editorial CEPIS. Recuperado el 10 de octubre del 2020 de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf

Oropeza García, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 1, 51-58. http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf

Ramírez Quirós, F. (2008). Lodos producidos en el tratamiento de agua potable. *Técnica Industrial*, 275, 46-52. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2676180

Romero Rojas, J. A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño* (3ra Ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero Rojas, J. A. (2006). *Purificación del Agua* (2da Ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.

Valencia López, A. E. (2013). *Diseño de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis – Provincia de Chimborazo* [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3118

Apéndices

Apéndice A. Resultados de Medición Parámetros Fisicoquímicos de Bocatoma Sumapaz

1 de 2

Laboratorio Acreditado NTC-ISO/IEC-17025:2005 Mediante Resolución Número 2456 del 2017

REPORTE DE RESULTADOS MUESTRA **1118436** REG-REA-094 Versión 5.0

Ciudad y fecha de reporte **Bogotá D.C., 2019-07-05**

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Empresa	ACONPIS LABORATORIO	**Teléfono:** 3002012868	
N.I.T.	38,263,795-3	**Email:** laboratorioaguas.melgar@gmail.com	
Dirección	Melgar -Tolima AV. Cafam # 19-79 Edifi. Bulevar		

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Muestra Agua cruda - ID: 8639	**Características**	Cruda-Refrigerada	**Tipo de Envase**	Vidrio	
Fecha de recepción 2019-06-11	**Temperatura**	5,3 °C	**Tamaño Muestra**	3,000 mL	
Fecha de elaboración N.A.	**Método de Muestreo**	Puntual	**Norma**	N/A	
Fecha de vencimiento N.A.			**Muestreo por**	EMPRESA	
No. Lote N.A. **Proveedor** N.A.			**Muestreo Fecha/Hora**	2019-06-10	8:00 a.m
			Sitio de Muestreo	Bocatoma río Sumapaz CAFAM	

RESULTADOS					
PARÁMETRO	**Fecha de resultado**	**MÉTODO**	**Resultado**	**Unidades**	**Límites máximos permisibles**
					N/A
Fisicoquímico					
(A)pH	2019-06-11	SM 4500-H+ B	5,97	Unidades pH	-
(A)Conductividad eléctrica	2019-06-12	Electrométrico, SM 2510 B	44,79	µs/cm	-
(A)Turbidez	2019-06-11	Nefelométrico, SM 2130 B	14,1	NTU	-
(A) Alcalinidad Total	2019-06-12	Volumétrico, SM 2320 B	<20	mg CaCO3/L	-
(N)Bicarbonatos	2019-06-12	Volumetría, SM 2320 B	<20	mgHCO3/L	-
(N) Carbonatos	2019-06-12	Volumetría, SM 2320 B	<20	mgHCO3/L	-
(A) Acidez	2019-06-12	Volumétrico, SM 2310 B	<20	mg CaCO3/L	-
(A)Dureza total	2019-06-13	Volumétrico con EDTA, SM 2340 C	<20	mg CaCO3/L	-
(A)Dureza cálcica	2019-06-13	Volumétrico con EDTA, SM 3500 – Ca, B	<20	mg CaCO3/L	-
(A)Cloruros	2019-06-17	Argentométrico, SM 4500- Cl, B	<10	mgCl-/L	-

Laboratorio Acreditado
NTC-ISO/IEC-17025:2005
Mediante Resolución
Número 2456 del 2017

REPORTE DE RESULTADOS MUESTRA 1118436

REG-REA-094 Versión 5.0

Ciudad y fecha de reporte **Bogotá D.C., 2019-07-05**

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Empresa	ACONPIS LABORATORIO	**Teléfono:** 3002012868	
N.I.T.	38,263,795-3	**Email:** laboratorioaguas.melgar@gmail.com	
Dirección	Melgar -Tolima AV. Cafam # 19-79 Edifi. Bulevar		

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Muestra Agua cruda - ID: 8639	**Características**	Cruda-Refrigerada	
Fecha de recepción 2019-06-11	**Temperatura**	5,3 °C	
Fecha de elaboración N.A.	**Método de Muestreo**	Puntual	
Fecha de vencimiento N.A.			
No. Lote N.A. **Proveedor** N.A.			

Tipo de Envase	Vidrio	
Tamaño Muestra	3,000mL	
Norma	N/A	
Muestreo por	EMPRESA	
Muestreo Fecha/Hora	2019-06-10	8:00 a.m
Sitio de Muestreo	Bocatoma río Sumapaz CAFAM	

RESULTADOS					
PARÁMETRO	**Fecha de resultado**	**MÉTODO**	**Resultado**	**Unidades**	**Límites máximos permisibles**
					N/A
(A)Ortofosfatos	2019-06-13	SM 22nd Edition 4500-P D	<0,1	mg/L P-PO4	-
(A)Nitratos	2019-06-11	Espectrofotométrico Método salicilato de sodio, análisis de aguas, J. Rodier 9ª Ed. 2011	2,03	mg N-$NO3^{-}$/L	-
Absorción atómica					
(N) Calcio	2019-06-18	SM 3030 F, SM 3111 B	1,81	mgCa/L	-
(A)Magnesio	2019-06-18	SM 3030 F, SM 3111 B	1,13	mgMg/L	-
(A)Aluminio	2019-06-20	SM 3030 F, SM 3111 D.	0,41	mgAl/L	-
(A)Hierro	2019-06-14	SM 3030 F, SM 3111 B	2,2	mgFe/L	-
Los resultados son válidos sólo para las muestras en referencia y los ensayos realizados. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin previa autorización escrita por parte de ASINAL S.A.S. (A)- Parámetro Acreditado; (N) Parámetro No Acreditado					
CALIFICACIÓN DE LA MUESTRA.					

Fisicoquímica

Aceptable	Teniendo en consideración los parámetros relacionados en el presente reporte.

BELISARIO ACEVEDO D, PhD. Director Técnico

www.asinal.net.co - Tel: (571) 6053555 - (310) 2051417- Calle 10 Sur No 41-27 (Ciudad Montes), Bogotá D.C. Colombia

Servicio Nacional e Internacional (Panamá, Centroamérica, Caribe, Ecuador)

Apéndice B. Resultados de Medición Parámetros Fisicoquímicos de Bocatoma La Melgara y Agua Fría

1 de 2

Laboratorio Acreditado NTC-ISO/IEC-17025:2005 Mediante Resolución Número 2456 del 2017

REPORTE DE RESULTADOS MUESTRA 1118437

REG-REA-094 Versión 5.0

Ciudad y fecha de reporte **Bogotá D.C., 2019-07-04**

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Empresa	ACONPIS LABORATORIO	**Teléfono**	3002012868
N.I.T.	38,263,795-3	**Email**	laboratorioaguas.melgar@gmail.com
Dirección	Melgar -Tolima AV. Cafam # 19-79 Edifi. Bulevar		

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA				
Muestra Agua cruda - ID: 8640	**Características**	Cruda-Refrigerada	**Tipo de Envase**	Vidrio
Fecha de recepción 2019-06-11			**Tamaño Muestra**	3,000 mL
Fecha de elaboración N.A.	**Temperatura**	5,3 °C	**Norma**	N/A
Fecha de vencimiento N.A.			**Muestreo por**	EMPRESA
No. Lote N.A. **Proveedor** N.A.	**Método de Muestreo**	Puntual	**Muestreo Fecha/Hora**	2019-06-10 7:30:00 a. m. - 8:00 a.m
			Sitio de Muestreo	Quebrada La Melgara y Agua Fría CAFAM

RESULTADOS

PARÁMETRO	Fecha de resultado	MÉTODO	Resultado	Unidades	Límites máximos permisibles
					N/A
Fisicoquímica					
(A)pH	2019-06-11	SM 4500-H+ B	6,2	Unidades pH	-
(A)Conductividad eléctrica	2019-06-12	Electrométrico, SM 2510 B	48,03	µs/cm	-
(A)Turbidez	2019-06-11	Nefelométrico, SM 2130 B	4,16	NTU	-
(A) Alcalinidad Total	2019-06-12	Volumétrico, SM 2320 B	<20	mg CaCO3/L	-
(N)Bicarbonatos	2019-06-12	Volumetría, SM 2320 B	<20	mgHCO3/L	-
(N) Carbonatos	2019-06-12	Volumetría, SM 2320 B	<20	mgHCO3/L	-
(A) Acidez	2019-06-12	Volumétrico, SM 2310 B	<20	mg CaCO3/L	-
(A)Dureza total	2019-06-13	Volumétrico con EDTA, SM 2340 C	<20	mg CaCO3/L	-
(A)Dureza cálcica	2019-06-13	Volumétrico con EDTA, SM 3500 – Ca, B	<20	mg CaCO3/L	-
(A)Cloruros	2019-06-17	Argentométrico, SM 4500- Cl, B	<10	mgCl-/L	-

Laboratorio Acreditado
NTC-ISO/IEC-17025:2005
Mediante Resolución
Número 2456 del 2017

REPORTE DE RESULTADOS MUESTRA 1118437

REG-REA-094 Versión 5.0

Ciudad y fecha de reporte **Bogotá D.C., 2019-07-04**

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Empresa	ACONPIS LABORATORIO	**Teléfono**	3002012868
N.I.T.	38,263,795-3	**Email**	laboratorioaguas.melgar@gmail.com
Dirección	Melgar -Tolima AV. Cafam # 19-79 Edifi. Bulevar		

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Muestra Agua cruda - ID: 8640

Fecha de recepción 2019-06-11

Fecha de elaboración N.A.

Fecha de vencimiento N.A.

No. Lote N.A. **Proveedor** N.A.

Características	Cruda-Refrigerada
Temperatura	5,3 °C
Método de Muestreo	Puntual

Tipo de Envase	Vidrio	
Tamaño Muestra	3,000 mL	
Norma	N/A	
Muestreo por	EMPRESA	
Muestreo Fecha/Hora	2019-06-10	7:30:00 a. m. - 8:00 a.m
Sitio de Muestreo	Quebrada La Melgara y Agua Fría CAFAM	

RESULTADOS					
PARÁMETRO	**Fecha de resultado**	**MÉTODO**	**Resultado**	**Unidades**	**Límites máximos permisibles**
					N/A
(A)Ortofosfatos	2019-06-13	SM 22nd Edition 4500-P D	<0,1	mg/L P-PO4	-
(A)Nitratos	2019-06-11	Espectrofotométrico Método salicilato de sodio, análisis de aguas, J. Rodier 9ª Ed. 2011	<0,89	mg N-$NO3^{-}$/L	-
Absorción atómica					
(N) Calcio	2019-06-18	SM 3030 F, SM 3111 B	1,63	mgCa/L	-
(A)Magnesio	2019-06-18	SM 3030 F, SM 3111 B	<1	mgMg/L	-
(A)Aluminio	2019-06-20	SM 3030 F, SM 3111 D.	0,41	mgAl/L	-
(A)Hierro	2019-06-14	SM 3030 F, SM 3111 B	1,45	mgFe/L	-
Los resultados son válidos sólo para las muestras en referencia y los ensayos realizados. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin previa autorización escrita por parte de ASINAL S.A.S. (A)- Parámetro Acreditado; (N) Parámetro No Acreditado					
CALIFICACIÓN DE LA MUESTRA.					

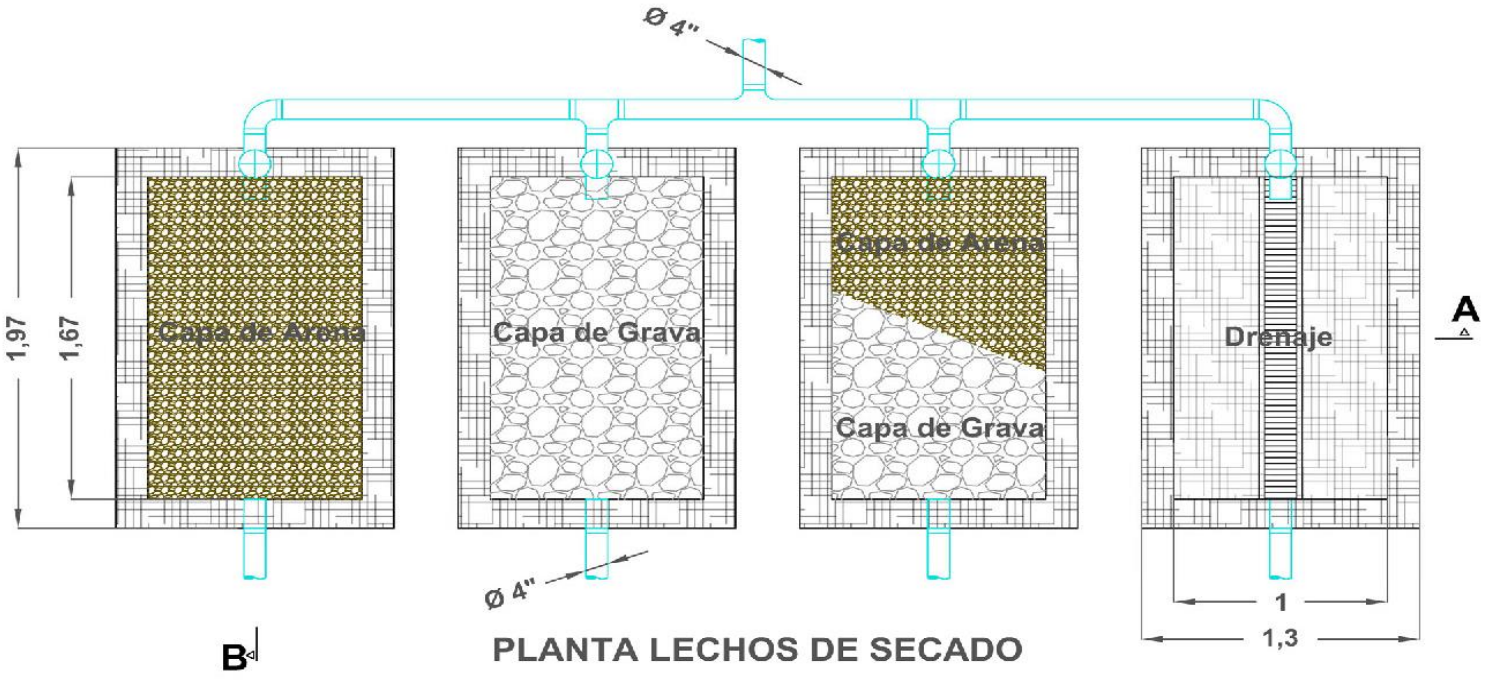
Fisicoquímica

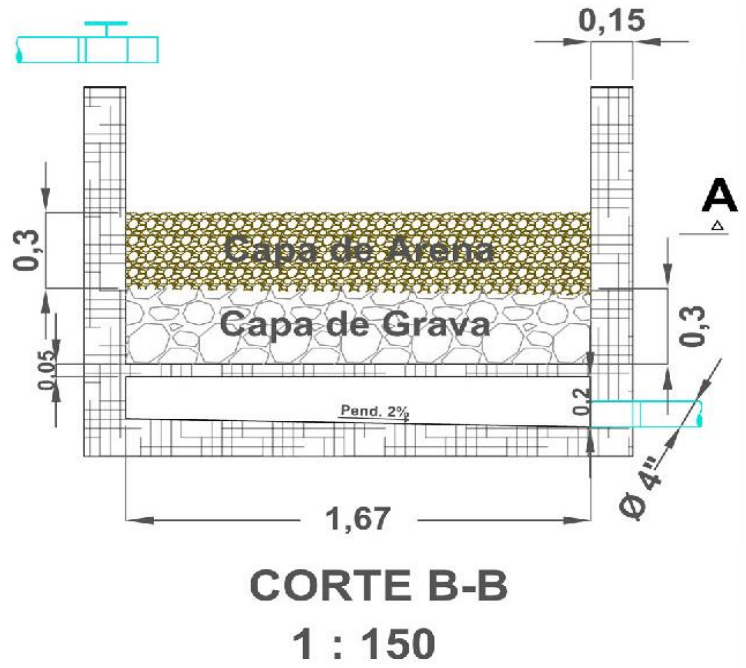
Aceptable	Teniendo en consideración los parámetros relacionados en el presente reporte.

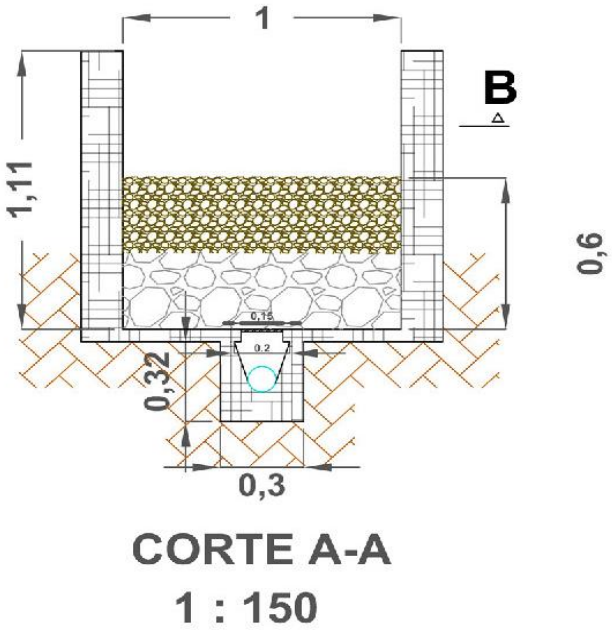
BELISARIO ACEVEDO D, PhD. Director Técnico

www.asinal.net.co - Tel: (571) 6053555 - (310) 2051417- Calle 10 Sur No 41-27 (Ciudad Montes), Bogotá D.C. Colombia

Servicio Nacional e Internacional (Panamá, Centroamérica, Caribe, Ecuador)







UCUNDINAMARCA Generación Siglo 21	PROYECTO: GESTION DE SUBPRODUCTOS (LODOS) PRODUCIDOS DURANTE EL PROCESO DE POTABILIZACION DE AGUA EN EL CENTRO VACACIONAL CAFAM MELGAR	CONTIENE: DISEÑO DE LECHOS DE SECADO PARA LOS LODOS DE ALUMBRE PRODUCIDOS EN LA PTAP DEL CVM MELGAR	AUTOR: JAIRO IVÁN MOGOLLÓN ROBAYO	PLANO: 1 DE 1	CAFAM
		VISTA EN: PLANTA; LATERAL; FRONTAL	ARCHIVO: *.DWG; PDF	FECHA DE ELABORACIÓN: 14 DE OCTUBRE DE 2020	
			UNIDADES DE COTAS: METROS (m)		