

16.

**FECHA** | lunes, 22 de enero de 2018

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
**BIBLIOTECA**  
 Ciudad

<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Extensión Facatativá
<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Trabajo De Grado
<b>FACULTAD</b>	Ciencias Agropecuarias
<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería Ambiental

**El Autor(Es):**

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACION
ALDANA GÓMEZ	SARA GABRIELA	1032480915


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

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
CASTANEDA CELEITA	WILLIAM ANDRES

TÍTULO DEL DOCUMENTO
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO DE FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA.

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
<b>INGENIERO AMBIENTAL</b>

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 2 de 5</b>

<b>AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO</b>	<b>NUMERO DE PÁGINAS</b>
2017	188p

<b>DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS</b> (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
<b>ESPAÑOL</b>	<b>INGLÉS</b>
1. Lodos de alúmina	Alumina sludge
2. Sulfato de aluminio	Aluminum sulphate
3. Compostaje	Composting
4. Mampostería	Masonry
5. Sedimentación primaria	Primary sedimentation
6. Aprovechamiento	Utilization

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

**RESUMEN**

El presente trabajo investigativo tuvo el propósito de evaluar las alternativas de disposición final y reaprovechamiento de los lodos de alúmina, generados en el tratamiento de potabilización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), "El Gatillo", de la Empresa Aguas de Facatativá – E.A.F. S.A.S. E.S.P. – desde un planteamiento ajustado a las condiciones físicas, químicas, biológicas y microbiológicas de estos residuos, con base a propuestas financiera y ambientalmente viables. En razón a lo dicho, se realizó la caracterización de los lodos provenientes del muestreo de la sedimentación primaria, lo que permitió un manejo más detallado de los lodos a nivel experimental, definiendo las alternativas de aprovechamiento, sus limitantes y sus beneficios en algunos sectores de la economía, como la agricultura, viveros y la construcción. Para cumplir este propósito, se usó una metodología de enfoque mixto, involucrando el análisis cualitativo y cuantitativo de las variables incidentes en lo planteado, para la recuperación de sulfato de aluminio, implementación como compostaje y materia prima en unidades de mampostería a partir de los lodos. De los resultados obtenidos, se evidenció que las propuestas tienen ventajas, pero también limitantes, inicialmente por la alta concentración de aluminio ( $Al^{+3}$ ) y hierro ( $Fe^{+3}$ ), sin embargo, las propiedades de estos se potencializaron a nivel experimental, comprobando que el volumen de producción de los fangos se puede reducir y por lo tanto, generar un manejo sostenible, con beneficios económicos, sociales y ambientales.

**ABSTRACT**

The present investigative work had the purpose of evaluating the alternatives of final disposition and reuse of the alumina sludge, generated in the purification treatment of the Potable Water Treatment Plant (PTAP), "El Gatillo", of the Empresa Aguas de Facatativa - EAF S.A.S. E.S.P. - from an approach adjusted to the physical, chemical, biological and microbiological conditions of this waste, based on financially and environmentally viable proposals. Based on what has been said, the characterization of the sludge from the sampling of the primary sedimentation was carried out, which allowed a more detailed management of the sludge at experimental level, defining the alternatives of use, its limitations and its benefits in some sectors of the economy, such as agriculture, nurseries and construction. To fulfill this purpose, a mixed approach methodology was used, involving the qualitative and quantitative analysis of the incident variables in the proposal, for the recovery of aluminum sulphate, implementation as composting and raw material in masonry units from the sludge. From the results obtained, it was evident that the proposals have advantages, but also limiting, initially due to the high concentration of aluminum ( $Al^{+3}$ ) and iron ( $Fe^{+3}$ ), however, the properties of these were potentiated experimentally, verifying that the production volume of the sludge can be reduced and, therefore, generate a sustainable management, with economic, social and environmental benefits.

**AUTORIZACION DE PUBLICACION**

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.

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2



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):**



	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 4 de 5</b>

**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  X\_\_.

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.)
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO DE FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA.pdf	TEXTO

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

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autografía)
ALDANA GÓMEZ SARA GABRIELA	

12.1.5



EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN  
FINAL DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE DEL ACUEDUCTO DE FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA

Sara Gabriela Aldana Gómez



Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ingeniería Ambiental

Facatativá

2017



EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN  
FINAL DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE DEL ACUEDUCTO DE FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA

Sara Gabriela Aldana Gómez

Trabajo de grado para optar por el título de  
Ingeniero Ambiental

Director:

William Andrés Castañeda Celeita

Ing. Recursos Hídricos y Gestión Ambiental

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ingeniería Ambiental

Facatativá

2017



**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado



## DEDICATORIA

*A Dios y solo a Dios..., por su presencia que actúa de manera ineludible e inigualable sobre mi naturalidad humana, a través de condiciones sobrenaturales e inexplicables.*

## AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad de Cundinamarca y a los profesores que acompañaron durante 5 años, de una manera integral en el crecimiento cognitivo, profesional y personal, formando bases sólidas para desenvolverme como ingeniero ambiental.*

*A la Empresa Aguas de Facatativá – E.A.F. S.A.S. E.S.P. – encabezado por el Gerente Orlando Castro Rojas, por haber permitido el ingreso a las instalaciones y posterior aporte al desarrollo del proceso investigativo en la línea de recursos hídricos. También a los operadores de planta que siempre estuvieron dispuestos a colaborar en los montajes y proceso experimental, aportando su experiencia técnica y conceptual de manera incondicional e imprescindible; y en general a cada uno de los funcionarios de la empresa.*

*A los asesores del proyecto, Ing. William Andrés Castañeda Celeita (director); Bióloga Genie Lorena Velásquez Díaz (codirector) y el Profesional de producción de agua, Victor Manuel Galindo Dorado (codirector), por haber atendido constantemente el desarrollo del proyecto, con acompañamientos y aportes para la mejora de los procedimientos en las diferentes disciplinas del conocimiento.*

*A la Microbióloga Vanessa Ortiz Perilla, por haber facilitado los recursos dentro del laboratorio de aguas del acueducto incondicionalmente.*

*A Álvaro Lugo, que estuvo en la instrucción del manejo de equipos y en el apoyo de los análisis físico – químicos de los ensayos realizados dentro del laboratorio de aguas de la E.A.F. S.A.S. E.S.P.*

*A los Laboratoristas de la Universidad de Cundinamarca por facilitar los insumos y el acceso a los laboratorios de la universidad pertinentemente, así como su colaboración en los ensayos realizados.*

*A mi mamá y familiares que me apoyaron infatigablemente en la realización del proyecto, aportando directa o indirectamente en la culminación del proceso.*

*A mis amigos, los cuales no tengo las palabras para agradecerles por su inigualable amistad, que fue y será mi columna y mi contrafuerte para lograr ser un individuo cada día mejor.*



## I. RESUMEN

El presente trabajo investigativo tuvo el propósito de evaluar las alternativas de disposición final y reaprovechamiento de los lodos de alúmina, generados en el tratamiento de potabilización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), “El Gatillo”, de la Empresa Aguas de Facatativá – E.A.F. S.A.S. E.S.P. – desde un planteamiento ajustado a las condiciones físicas, químicas, biológicas y microbiológicas de estos residuos, con base a propuestas financiera y ambientalmente viables.

En razón a lo dicho, se realizó la caracterización de los lodos provenientes del muestreo de la sedimentación primaria, lo que permitió un manejo más detallado de los lodos a nivel experimental, definiendo las alternativas de aprovechamiento, sus limitantes y sus beneficios en algunos sectores de la economía, como la agricultura, viveros y la construcción. Para cumplir este propósito, se usó una metodología de enfoque mixto, involucrando el análisis cualitativo y cuantitativo de las variables incidentes en lo planteado, para la recuperación de sulfato de aluminio, implementación como compostaje y materia prima en unidades de mampostería a partir de los lodos.

De los resultados obtenidos, se evidenció que las propuestas tienen ventajas, pero también limitantes, inicialmente por la alta concentración de aluminio ( $Al^{+3}$ ) y hierro ( $Fe^{+3}$ ), sin embargo, las propiedades de estos se potencializaron a nivel experimental, comprobando que el volumen de producción de los fangos se puede reducir y por lo tanto, generar un manejo sostenible, con beneficios económicos, sociales y ambientales.

*Palabras clave:* lodos de alúmina, sulfato de aluminio, compostaje, mampostería, sedimentación primaria, aprovechamiento.

## CONTENIDO

<b><u>I. RESUMEN</u></b>	<b><u>6</u></b>
<b><u>INTRODUCCIÓN</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b><u>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u></b>	<b><u>12</u></b>
<b><u>2. JUSTIFICACIÓN</u></b>	<b><u>14</u></b>
<b><u>3. OBJETIVOS</u></b>	<b><u>15</u></b>
3.1. GENERAL	15
3.2. ESPECÍFICOS	15
<b><u>4. GENERALIDADES</u></b>	<b><u>16</u></b>
4.1. UBICACIÓN	16
4.2. PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA EMPRESA AGUAS DE FACATIVÁ	16
<b><u>5. ESTADO DEL ARTE</u></b>	<b><u>25</u></b>
5.1. REÚSO DE LOS LODOS DE ALÚMINA COMO ACONDICIONADORES DE SUELO	25
5.2. REÚSO DE LOS LODOS DE ALÚMINA COMO MATERIA PRIMA EN UNIDADES DE MAPOSTERÍA	26
5.3. REÚSO DE LOS LODOS DE ALÚMINA EN LA RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO	27
<b><u>6. MARCO REFERENCIAL</u></b>	<b><u>28</u></b>



<b>6.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>28</b>
<b>6.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>33</b>
6.2.1. LODOS	33
6.2.2. SÓLIDOS SEDIMENTADOS	33
6.2.4. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP)	33
6.2.5. FLUJO HIDRÁULICO	33
6.2.6. SEDIMENTADORES	35
6.2.7. OPTIMIZAR	35
6.2.8. RENTABILIDAD	35
6.2.9. VIABILIDAD FINANCIERA	35
6.2.10. VIABILIDAD AMBIENTAL	35
<b>6.3. MARCO LEGAL</b>	<b>36</b>
<b><u>7. METODOLOGÍA</u></b>	<b><u>38</u></b>
<b>7.1. APARTADO 1: MUESTREO DE LODOS</b>	<b>38</b>
<b>7.2. APARTADO 2: CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y BIOLÓGICA DE LOS LODOS</b>	<b>45</b>
7.2.1. CARACTERIZACIÓN DE LODOS EN LABORATORIO EXTERNO	45
7.2.2. PRUEBAS COMPLEMENTARIAS EXPERIMENTALES REALIZADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN	47
<b>7.3. APARTADO 3: METODOLOGÍAS EXPERIMENTALES APLICADAS PARA LAS ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS DE POTABILIZACIÓN</b>	<b>56</b>
7.3.1. RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO	56
7.3.2. LODO COMO ACONDICIONADOR DE SUELO	63
7.3.3. LODO COMO MATERIA PRIMA EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS	68
<b>7.4. APARTADO 4: ANÁLISIS FINANCIERO Y AMBIENTAL</b>	<b>72</b>
<b><u>8. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</u></b>	<b><u>74</u></b>

<b>8.1. APARTADO I: CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y BIOLÓGICA DE LOS LODOS</b>	<b>74</b>
<b>8.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LODOS EN LABORATORIO EXTERNO</b>	<b>74</b>
8.1.2. PRUEBAS COMPLEMENTARIAS EXPERIMENTALES REALIZADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN	77
<b>8.2. APARTADO II: PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS DE POTABILIZACIÓN</b>	<b>88</b>
8.2.1. RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO	88
8.2.2. LODO COMO ACONDICIONADOR DE SUELO	107
8.2.3. LODO COMO MATERIA PRIMA EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS	114
<b><u>9. ANÁLISIS FINANCIERO Y AMBIENTAL</u></b>	<b><u>117</u></b>
<b>9.1. ESTUDIO FINANCIERO DEL PROYECTO</b>	<b>117</b>
<b>9.2. ESTUDIO AMBIENTAL</b>	<b>122</b>
<b><u>10. CONCLUSIONES</u></b>	<b><u>126</u></b>
<b><u>11. RECOMENDACIONES</u></b>	<b><u>127</u></b>
<b><u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	<b><u>129</u></b>
<b><u>ANEXOS</u></b>	<b><u>140</u></b>

## INTRODUCCIÓN

La Empresa Aguas de Facatativá – E.A.F. S.A.S. E.S.P.– para cumplir con su objeto social debe realizar el proceso de captación y tratamiento de potabilización de agua superficial, contando también con agua subterránea, proveniente del Sistema Acuífero Guadalupe de la subcuenca de Balsillas; esta última es utilizada como una segunda alternativa en época seca que fluye desde la parte alta hacia el valle del río Botello, donde los niveles piezométricos están entre 2.620 y 2.460 msnm (CAR, 2008), siendo estos los pozos San Rafael y Deudoro en la PTAP principal ubicada en la Carrera 1 sur con Calle 16, y el pozo Guapucha en la Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP – La Guapucha ubicada en la parte alta del Barrio Dos Caminos (E.A.F. S.A.S. E.S.P., 2016).

De acuerdo a que el tratamiento de potabilización de las fuentes de abastecimiento correspondientes a aguas superficiales y subterráneas genera residuos a partir de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación denominados lodos; los cuales deben tener un tratamiento y opciones de manejo específico, sometiéndolos a un proceso de estabilización con el fin de disminuir la carga de contaminantes, cuyo tratamiento debe ser eficiente para evitar algún impacto negativo sobre el medio ambiente. Para realizar la estabilización de lodos se debe desarrollar ensayos, procesos y aplicaciones, con el fin de disminuir cargas de contaminantes, fermentar o alcalinizar estos residuos. Posterior a la estabilización se instaura las posibles alternativas de uso de los lodos, en los que se destacan aprovechamiento en suelos o en la agricultura.

El uso integral de los lodos requiere procesos de extracción del material acondicionando sistemas de recolección de material como deshidratadores, a partir de lagos o tanques de secado, extractores de humedad, filtros entre otros, que permiten recircular el agua y extraer el material directo para su uso alternativo, así como se opera con los biosólidos (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014).



Análogamente, para determinar el uso más viable de los lodos se toma algunos criterios del Decreto 1287 de 2014, que aunque es para biosólidos brinda algunos parámetros de seguimiento a estos residuos provenientes de PTAP. Es decir, se hace necesario realizar una caracterización física, química y biológica de los lodos, para establecer contenidos minerales, materia orgánica y evitar fitopatologías en su posible uso para la agricultura. El uso de los lodos es viable técnicamente para la mezcla de estos residuos en materiales de construcción como concreto, mampostería, ladrillos y cemento, presentando buena resistencia, obtenidos a partir de coagulación de sulfato de aluminio (Cerón, Millán, Espejel, Rodríguez, & Ramírez, 2007).

Por otro lado los lodos pueden ser aprovechados en la agricultura dependiendo de sus características químicas y biológicas, como alternativa de abono para enriquecimiento de los componentes del suelo y permitir el crecimiento vegetal, (Limón, 2013) estableciendo proyectos y políticas de seguridad alimentaria dentro del municipio y la E.A.F. S.A.S. E.S.P., siendo la misma empresa quien provea de esta materia prima.

Consecuentemente, este trabajo de investigación fundamentado en la línea de recursos hídricos y ejecutado en la Empresa Aguas de Facatativá – E.A.F. S.A.S. E.S.P. –, del cual tuvo el fin de evaluar alternativas de aprovechamiento y disposición final adecuada de los lodos de alúmina en diferentes actividades experimentales. Inicialmente, en la estructura del trabajo se encuentra el planteamiento del problema del desecho de los lodos en el acueducto de Facatativá; posteriormente, se da paso a la justificación y la necesidad de poder encontrar un uso sostenible de los lodos; así, se da paso a los objetivos del proyecto tanto general y específicos. Luego más adelante, se realiza la contextualización de la ubicación de la empresa y las generalidades de la misma, con respecto a las etapas del proceso de potabilización.

De esta forma, se abre paso a plantear la revisión bibliográfica del estado actual del manejo y la disposición final de los lodos, así como las condiciones técnicas para el reaprovechamiento de los mismos, relacionándolo con el marco conceptual, que fundamenta la metodología y el enfoque de la misma. La metodología se dividió, por la caracterización físico – química de los lodos, seguida de las técnicas implementadas en las alternativas planteadas.

En los resultados y análisis de los resultados se evaluó los limitantes y ventajas de las propuestas definidas, conllevando finalmente a establecer la viabilidad ambiental desde la valoración cualitativa y cuantitativa de impactos sin el proyecto y un estudio financiero para

establecer la rentabilidad del reúso de los lodos, mediante indicadores financieros, como fue la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN).

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El manejo de lodos resultantes de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), es uno de los componentes ambientales y económicos que presentan una dificultad en la disposición final, luego que, como lo aseguró el MAVDT (2002), estos aglomerados, sino están debidamente tratados, llegan a contaminar sustancialmente los suelos y las aguas subterráneas y superficiales, así como una creciente en la generación de lodos, a causa de la falta de capacidad técnica y económica de las empresas prestadoras de acueducto y alcantarillado, y la gestión de los agentes involucrados (Donado, 2013).

Adicionalmente, cuando los lodos residuales son vertidos, tienen una gran cantidad de agua y de coagulante que no son recuperables en un 90% , y por lo tanto son una pérdida económica para los acueductos, generando que la eficiencia de los procesos se disminuya y aumente los impactos ambientales en el componente social, biológico, paisajístico, atmosférico, edáfico y acuático (Sandoval, Martín, Piña, & Montellano, 2005).

Lo anterior ocurre también en el tratamiento y disposición final de los lodos en el Acueducto Municipal de Facatativá, Cundinamarca, el cual se ha obstaculizado debido a las condiciones técnicas y económicas para realizar el manejo de los mismos, que en consecuencia se vierten bbbbbbdirectamente al alcantarillado, aumentando la recirculación a fuentes hídricas, con un volumen promedio de 7471,7565 kg/mes de lodo seco y 240304,4152 kg/mes en masa húmeda, que sin duda provoca cambios en las condiciones del agua del cuerpo acuático y bajo rendimiento en la red de alcantarillado (Raigosa, 2012).

Es decir, la principal dificultad en cuanto a este tema en el Acueducto de Facatativá es la falta de implementación de un proyecto sobre el manejo y tratamiento de los lodos residuales de la PTAP ubicada en la Carrera 1 sur con Calle 16. De acuerdo a lo discutido en el E.A.F. S.A.S. E.S.P., se requiere realizar el tratamiento de los lodos residuales en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP). En consecuencia, la E.A.F. S.A.S. E.S.P. no presenta una ingeniería de diseño para el manejo, tratamiento y disposición en su espacio físico, para no verter los lodos

residuales a la red de alcantarillado, contribuyendo en cierta forma a alterar el comportamiento del régimen hídrico natural frente a la capacidad de resiliencia del ecosistema y las unidades hidráulicas, luego que el gasto de agua en el lavado y purga de sedimentadores, junto con los filtros, representa unas pérdidas de 146000 m<sup>3</sup> de agua/año, correspondiente a un gasto \$138'700.000, que incluye la aplicación de químicos, como el sulfato de aluminio y la cal. No obstante, en términos sociales, estos \$138'700.000 representan la no distribución de agua a 20000 personas, en un tiempo de 8 (ocho) días, contemplando que la dotación neta es de 125 L/hab.día.

Se propone como alternativa, el aprovechamiento de los lodos en la planta principal del acueducto que involucre un sistema con tecnología para el tratamiento y disposición final de lodos, para dar solución a la necesidad de realizar el manejo de los lodos residuales y mitigar los impactos negativos, lo que requerirá permisos de la E.A.F. S.A.S. E.S.P. para realizar estudios, análisis e investigaciones periódicas en el lugar, y así poder implementar consistentemente la propuesta desde un desarrollo ingenieril en varias etapas de aprovechamiento de los residuos (Chaparro, 2012).



## 2. JUSTIFICACIÓN

El proceso de investigación enfocado a la generación de unas alternativas de manejo, tratamiento y disposición final de los lodos producidos en la PTAP de la E.A.F. S.A.S. E.S.P., se justifica desde el campo normativo, económico y ambiental por determinadas razones, que a continuación se argumentaran.

La importancia de realizar una propuesta sobre el manejo integral de los lodos en la PTAP de la E.A.F. S.A.S. E.S.P. se hace necesario debido a la reglamentación establecida por el Decreto 3930 de 2010, en el artículo 25, numeral 3, del cual define como una actividad no permitida, lo siguiente:

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 (p.12).

En consecuencia, se deben especificar medidas para el manejo de este tipo de residuos, siguiendo los lineamientos establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000 –, Título C, de Sistemas de Potabilización (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000), haciendo las caracterizaciones, evacuación y disposición final para el estudio de los lodos; de otro lado, en su capítulo C.13.3.3, establece algunas alternativas para la disposición final de lodos. Dentro del RAS 2000 se presentan acciones adecuadas para la reducción de lodos que no impliquen un impacto negativo sobre el medio ambiente presentando alternativas para su aprovechamiento como insumo agrícola u otras actividades dependiendo de su composición (establecer por estudios de laboratorio).

Implementar un nuevo sistema de manejo integral de lodos permitirá abrir posibilidades a la empresa de acueducto para desarrollar actividades de investigación que den lugar a un beneficio

económico, ambiental y la posibilidad de establecer tecnologías innovadoras para el tratamiento y disposición final de residuos generados por el tratamiento de agua potable para el municipio de Facatativá.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1.GENERAL

Evaluar alternativas de aprovechamiento y disposición final de los lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable del acueducto de Facatativá, Cundinamarca.

#### 3.2.ESPECÍFICOS

- 3.2.1. Caracterizar los lodos residuales generados actualmente y a futuro en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Empresa Aguas de Facatativá.
- 3.2.2. Definir las alternativas de aprovechamiento de los lodos, de acuerdo a sus características físico – químicas y microbiológicas.
- 3.2.3. Evaluar la viabilidad financiera y ambiental de las alternativas planteadas para conocer el costo – beneficio de las mismas.

## 4. GENERALIDADES

### 4.1. UBICACIÓN

El presente proyecto se desarrolló en el Acueducto Municipal, Empresa Aguas de Facatativá - E.A.F. S.A.S. E.S.P. – en la planta de potabilización *El Gatillo*, ubicado en la Carrera 1 Sur con Calle 16, en las coordenadas  $4^{\circ}48'50''$  N –  $74^{\circ}21'52''$  W, como se puede apreciar en la Figura 1.



Figura 1. Imagen satelital de la ubicación de la sede principal de la E.A.F. S.A.S. E.S.P. Fuente: Google Earth

### 4.2. PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA EMPRESA AGUAS DE FACATIVÁ



Uno de los propósitos de la E.A.F. S.A.S. E.S.P es proporcionar agua para consumo humano de buena calidad, de acuerdo a la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007) al municipio de Facatativá. Por esta razón, se lleva a cabo la potabilización de agua que se desarrolla bajo las etapas que se enmarcan en rojo en el diagrama de procesos de la Figura 2.

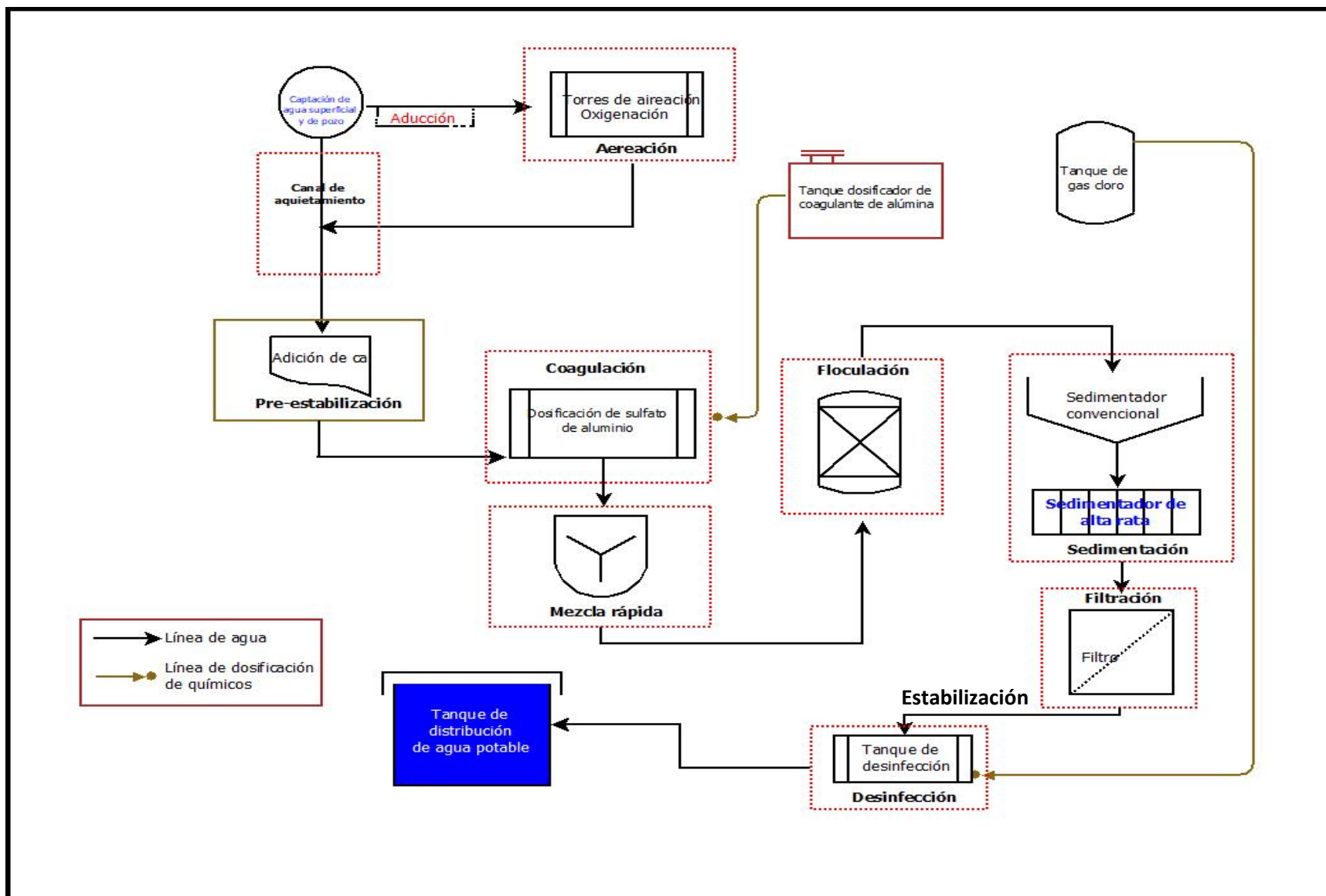


Figura 2. Diagrama de procesos de la potabilización de la planta "El Gatillo" en la E.A.F. S.A.S. E.S.P. Fuente: Autor

De acuerdo al diagrama de procesos, en el primer proceso se realiza la captación por bombeo de agua subterránea (pozo San Rafael y Deudoro) y agua superficial (también se llega a mezclar los dos tipos de agua), obteniendo un caudal aproximado de 18.500 m<sup>3</sup>/día. Posteriormente la matriz de agua cruda, es dirigida a la planta (la etapa de aducción) hacía las torres de aireación en escalera (ver Figura 3) sí es necesario, especialmente, cuando se está trabajando con agua subterránea por los altos contenidos de hierro que esta puede llegar a tener. De esta forma, el hierro presente, se oxida en contacto con el aire, por el aumento de la concentración de oxígeno, además se reducen gases como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) (Olaya & Muñoz, 2006).



*Figura 3. Torres de aireación de la PTAP de la E.A.F. S.A.S. E.S.P*

Sí el agua tiene que pasar por las torres, sigue su curso hacía el canal de quietamiento, pero si por el contrario no pasa por el proceso de aireación, se dirige directamente al canal que conduce a la fase de pre – estabilización de pH, con la adición de óxidos de calcio (cal viva), que tiene el propósito de obtener una alcalinidad adecuada en la coagulación. Los tanques de dosificación de cal son en fibra de vidrio, como se ilustra en la Figura 4.



*Figura 4. Tanques dosificadores de cal de la E.A.F. S.A.S. E.S.P*

Progresivamente, sigue la coagulación que desestabiliza químicamente los coloides presentes en el agua por medio del sulfato de aluminio y la mezcla rápida por agitación hidráulica (se utiliza la canaleta Parshall de 0,30 m de garganta y 0,40m de salto, como se muestra en la Figura 5) que produce turbulencia para dispersar de manera óptima el coagulante, ayudando a anular las cargas eléctricas de los sólidos para formar aglomeraciones, denominadas flóculos (Cárdenas, 2000).



*Figura 5. Canaleta Parshall implementada para la etapa de mezcla rápida*



En la floculación se considera los gradientes de velocidad, donde deben ser bajos para no romper las partículas aglomeradas. Esta consiste en unas cámaras con Tiempos de Retención Hidráulica (TRH) prolongados que permite el crecimiento necesario de los flóculos para sedimentar. La planta cuenta con dos unidades en paralelo que funcionan continuamente, pero cuando una se detiene la otra sigue funcionando, con la intención de no interrumpir la continuidad del acueducto.

Los floculadores cuentan con tres áreas que funcionan a velocidades diferentes, como se muestra en la Figura 6, generando el traspaso obligado del agua con un movimiento ascendente por los orificios que estas poseen. En estudios anteriores de Rozo & Suta (2011) que citan a la E.A.O.C. S.A.S. E.S.P (1998), hay reportes de las dimensiones de cada una de las secciones de la floculación; estas se tabulan en la Tabla 1.



Figura 6. Secciones y zonas paralelas de los floculadores

Tabla 1. Dimensiones estructurales de los floculadores

Zona	Gradiente ( $s^{-1}$ )	Número de compartimentos	Área orificio de paso ( $m^2$ )	Tiempo de Retención (min)
1	40,1	8	0,55	4,84

2	29,6	11	0,710	0,665
3	21,2	6	0,768	6,75

*Nota: Tomado y adaptado de Rozo & Suta (2011)*

El floc que se forma en la etapa de floculación pasa a los sedimentadores convencionales, para decantarse por acción gravitatoria de los sólidos, debido a su peso específico y forma, produciendo una acumulación en el fondo del tanque y agua clarificada en la parte superficial. Estos sólidos son los denominados lodos y se encuentran en base húmeda. En la Figura 7 se muestran los dos sedimentadores convencionales.



*Figura 7. Sedimentadores convencionales*

Dando continuidad al flujo del agua, esta sigue en el proceso de decantación y ahora pasa al sedimentador de alta tasa, que posee unas placas inclinadas a  $60^\circ$  de asbesto cemento. Los sedimentadores de este tipo permiten captar las partículas con menor peso y que no sedimentaron en el convencional. En la Figura 8 se presenta los sedimentadores de alta tasa de la planta.





*Figura 8. Sedimentadores de alta rata de la planta de la E.A.F. S.A.S. E.S.P.*

Todo el material que no fue removido en los sedimentadores se retiene en los filtros, que son 4 (ver Figura 9); entre estas partículas se encuentran sólidos suspendidos y microorganismos, que se adhieren al lecho de antracita (0,45 m), arena (0,20) y grava cuando el flujo de agua pasa en descenso.



*Figura 9. Filtros de la planta de la E.A.F. S.A.S. E.S.P.*

En cuanto a las últimas etapas, el agua que sale de los filtros se le realiza desinfección con gas cloro, para eliminar los microorganismos que alcanzaron esta etapa. Finalmente, se estabiliza el pH con cal y pasa a los tanques de distribución, donde es distribuida a la población municipal.

## 5. ESTADO DEL ARTE

En esta sección se expone lo realizado en algunos trabajos antecesores de investigación, en cuanto al reúso de los lodos de alúmina provenientes de la potabilización de agua como acondicionadores de suelo, como materia prima en unidades de mampostería y en la recuperación de sulfato de aluminio, haciendo evidente desde la revisión teórica, las principales falencias, logros y aspectos clave, lo que contribuirá a identificar las propiedades y fundamentos para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos del presente proyecto investigativo en la E.A.F. S.A.S. E.S.P.

### 5.1. REÚSO DE LOS LODOS DE ALÚMINA COMO ACONDICIONADORES DE SUELO

El reúso de los fangos resultantes de la potabilización de agua en los últimos años se ha venido implementando como materia prima en diferentes procesos, adquiriendo una importancia económica, energética y ambiental.

De esta forma, uno de los estudios fue en Europa, en la planta de potabilización de *Masseria Romaniello*, Italia por los investigadores Caniani, Masi, Mancini, & Trulli (2013), que propusieron una metodología de análisis sobre los componentes químicos de los lodos y su posterior uso en la formación de bio – suelos, identificando los componentes receptores del suelo, la vegetación y los acuíferos existentes. Inicialmente se estableció que a los lodos de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) se les debe evaluar las principales características físicas y químicas, así como la posible filtración de contaminantes en las aguas subterráneas, la diversificación en la biomasa epigea y la germinación de las plántulas.

En este estudio se encontró que los lodos de alúmina tienen alto contenido de humedad con una baja actividad biológica, además se demostró la existencia de hidróxidos originados por los coagulantes. De esta forma, se destaca que estos residuos, presentan una granulometría franca, pero predomina el limo y la arcilla, con un porcentaje bajo de arena, lo que le confiere buenas propiedades nutricionales para el suelo; sin embargo, aunque estos lodos, en la mayoría de los parámetros físico – químicos no presentaron toxicidad para ser implementados en la estructuración de bio – suelos, sí tuvieron un problema con las altas concentraciones de aluminio, debido a que esta planta en Italia, utiliza polivinil aluminio, como reactivo coagulante. No obstante, haber mezclado suelo con lodo, no afectó el crecimiento de las plantas y la formación de los suelos, por el contrario, no hubo riesgos ambientales, ayudando al ahorro de material inerte y recuperación



ambiental, con la mitigación de impactos por contaminación a los acuíferos, correspondiendo a lo realizado por Rozo & Suta (2011) en su estudio en la E.A.F. S.A.S. E.S.P.

Otro de los aspectos importantes que se obtuvieron en el estudio, es que la dosificación de los fangos en los suelos debe ser la óptima, ya que puede liberar elementos eutrofizantes sobre los cuerpos de agua aledaños a la planta, coincidiendo con lo encontrado por Dassanayake, Jayasinghe, Surapaneni, & Hetherington (2015).

## 5.2.REÚSO DE LOS LODOS DE ALÚMINA COMO MATERIA PRIMA EN UNIDADES DE MAPOSTERÍA

En cuanto a la incorporación del lodo como materia prima en unidades de mampostería, los autores Tantawy & Mohamed (2017), evaluaron la utilización de la arcilla Goset Abu Khashier, (proveniente de la formación geológica Qarara del Eoceno Medio en Egipto, en la orilla oriental del río Nilo) y lodos de potabilización. Uno de los aspectos determinantes en la investigación, esta con base a que la arcilla implementada tiene altos contenidos de sílice (49,41%), pero bajos de alúmina (19,77%).

Los porcentajes de lodo de alúmina mezclado con la arcilla, alcanzó un 60% en peso sobre una base seca, con temperaturas de cocción de 750, 850 y 1000°C. Se encontró que este fango tuvo propiedades mineralógicas similares a las de la arcilla, por lo que una proporción de 60% lodo: 40% arcilla, en este proyecto de investigación se dedujo que estos residuos pueden reemplazar parcialmente los contenidos de arcilla, donde adicionalmente le confiere a las probetas de cerámica poros, lo que hace más liviano los ladrillos y aumenta la absorción de agua, así como disminuye la pérdida de ignición y la rotura de las unidades.

En razón a lo anterior, los autores Tantawy & Mohamed (2017), también definieron que a medida que aumenta la temperatura de cocción (>850°C) la porosidad aparente aumenta en los ladrillos y tiene una mayor resistencia ante las condiciones naturales. Posteriormente, la densidad aparente de los ladrillos de arcilla que tenían una proporción de lodo de alúmina fue aceptable, ya que se encontró dentro de un rango de 1,8 y 2 g/cm<sup>3</sup>. Finalmente, la resistencia a la compresión disminuyó con el incremento de fangos, por lo que el resultado óptimo de mezcla es del 15 al 30% de lodo.

### 5.3. REÚSO DE LOS LODOS DE ALÚMINA EN LA RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO

Otra de las formas de la reutilización de estos residuos, se enfoca en la recuperación de sulfato de aluminio. En Colombia, la mayoría de estudios están con base a la solubilización del aluminio en forma de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  presente en los sólidos, mediante vía alcalina o vía ácida con ácido sulfúrico, donde está última fue ensayada por Villegas, Castaño, & Paredes (2005). A partir de este estudio se encontró que las eficiencias obtenidas de la recuperación de sulfato de aluminio mediante una técnica de ensayos de tratabilidad, con lodos generados en la planta de Pisamo I de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira fueron de 30,8% (lodos de purga), 49,9% (lodos de lavado) y 48,4% (lodos de vaciado).

Cabe resaltar que estos valores porcentuales pueden ser superados entre un 80 – 90% (Perilla, 2015) y llegar a un eficiencia muy parecida al del sulfato de aluminio comercial con procesos de purificación y filtración por membranas, permitiendo reducir la demanda de coagulantes, así como el volumen de los residuos (Keeley, Smith, Judd, & Jarvis, 2016).

Análogamente, el proceso de acidificación conlleva establecer variables definidas, que son importantes para obtener el rendimiento de recuperación de sulfato de aluminio. Estas variables están dadas por los factores de pH, tiempo y velocidad de mezcla, en donde los mejores resultados están dentro del rango de 1,0 – 2,0 para pH y un tiempo de mezcla entre 30 – 60 minutos, con remociones de color de un 40% y de turbiedad de un 60% (Gallo & Uribe, 2003).

En cuanto, a los costos de recuperación del coagulante comercial, los autores Keeley, Jarvis, & Judd (2012) encontraron que la recuperación de la alumina resulta una alternativa para reducir los costos de alumbre comercial en un 70%. En relación a lo anterior, se puntualiza que los costos del ácido sulfúrico no son tan elevados, siendo claves en la economía de los acueductos y los procesos de potabilización.

## 6. MARCO REFERENCIAL

### 6.1.MARCO TEÓRICO

La manipulación de los lodos resultantes de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), se han venido estudiando con unas orientaciones y guías metodológicas, que inician desde la investigación científica y multidisciplinaria, con un único fin, de que estos no se conviertan en un residuo como tal, sino que sea considerado y manejado como un subproducto (MAVDT, 2002). En consecuencia, los lodos son removidos durante el proceso de tratamiento de aguas, que como ha sido estudiado por Hernández, Ruiz & Salinas (1995), pueden encontrarse en su estado original o haber presentado transformaciones durante el proceso, por lo que seleccionar un proceso de estabilización depende de varios factores, como lo es la cantidad, las condiciones físicas, químicas y microbiológicas (que definen la calidad), además de las condiciones propias del lugar objeto de estudio y del estado monetario de este (García N. O., 2006). Así mismo, Hernández et al plantean diferentes tecnologías de tratamiento de lodos residuales en Estados Unidos – EE.UU. – y Europa, de los cuales se encuentran la digestión anaerobia, la digestión aerobia, el tratamiento químico y la incineración.

La digestión anaerobia es uno de los procesos más eficientes para obtener lodos con altas tasas de aseptia (Carranza, 2016), produciendo así, ácidos volátiles y posteriormente gas metano a partir de estos ácidos que están influenciados por la temperatura en un intervalo de 29 a 33°C, debido a la concentración de sólidos, a la mezcla de fangos, al pH que debe ser mayor a 6.2 para que los microorganismos metanogénicos puedan sobrevivir y así producir el metano, y finalmente, por la concentración de los ácidos volátiles (García N. O., 2006). Este proceso se ha venido realizando en tanques de digestión anaerobia que pueden ser cilíndricos, rectangulares, en forma de huevo u ovalados, donde estos últimos, han elevado su utilización en Estados Unidos y México, luego que permite un mejor mezclado, mejor control de las capas de espuma y las menores necesidades de superficies y la reducción de las frecuencias de limpieza, ya que presentan paredes con una inclinación que evita la acumulación de desechos (Limón, 2013). Este proceso, como fue estudiado por Limón, (2013), se usa en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con una capacidad menor de 220 litros por segundo (l/s), además que requiere un elevado costo de inversión, pero uno menor, de operación.

De otro lado, la digestión aerobia, elimina la parte fermentable de los lodos, lo que permite que estos disminuyan, por acción metabólica de los microorganismos y la mineralización de la materia orgánica, produciendo así mismo anhídrido carbónico, o también conocido como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua y otros productos inorgánicos (Hernández, Ruiz, & Salinas, 1995). Estos procesos se implementan en Plantas de Tratamiento con unas capacidades no mayores a 20 m<sup>3</sup>/día, con unas ventajas que son la menor concentración de DBO, los costos iniciales no son muy altos y el producto biológico final es inodoro, sin embargo, tiene un mayor costo energético por el oxígeno necesario; no obstante, la etapa de deshidratación no es muy eficiente, además que requiere un mayor personal tecnificado (García N. O., 2006).

En contraste con lo anterior, el tratamiento químico, como es señalado en los estudios realizados por la Comisión Nacional del Agua, (2007), de Coayacán en México, D.F., generalmente se realiza con cal, luego que provoca cambios químicos en el lodo, generando menores concentraciones de fosfatos solubles, nitrógeno amoniacal y nitrógeno total, lo que disminuye la cantidad de nutrientes, limitando la tasa de aplicación de lodos y provocando que la reacción entre la cal y el ortofosfato disuelto formen un precipitado de fosfato de calcio, lo que aumenta de pH neutro, hasta básico (pH=12).

Otro de los procesos que es la incineración, genera la combustión de materias orgánicas, que reduce el volumen, emitiendo cenizas peligrosas compuestas solo por material mineral, conllevando a graves consecuencias en la atmósfera y cuerpos de agua (Carranza, 2016; Hernández, Ruiz, & Salinas, 1995).

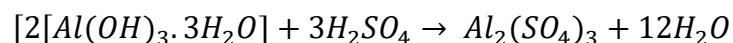
No obstante, la disposición final de lodos, recibe después de todo, una utilización posterior en compost, aplicación directa sobre el suelo y disposición en rellenos, como se estipula en el documento de Proyectos de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Municipales del (Ministerio del Medio Ambiente, 2002). Luego del tratamiento adecuado de lodos, se han identificado a una escala piloto, pero también a escala real, que estos subproductos aportan al suelo nutrientes y elementos esenciales para el crecimiento de los vegetales; una mejora de las propiedades físicas y químicas del componente litológico, en cuanto a estructura, permeabilidad y amortiguamiento (Donado, 2013). Por lo tanto, a este propósito se le suma una intensidad investigativa y analítica en la caracterización de lodos, especialmente como lo dice en su estudio García (2006), que cita a Ortiz (1994), del cual se debe realizar una precisión en los compuestos

inorgánicos acumulables, luego que de las sustancias orgánicas pueden existir más de 400.000 sustancias peligrosas, que ingresadas a los sistemas de alcantarillado o directamente a un cuerpo hídrico o al suelo, aumentan su concentración.

En este tratamiento de lodos se han identificado las posibilidades de reducir la cantidad de agua resultante en los mismos, donde adicionalmente se logrará una reducción y estabilización de los residuos mediante la deshidratación y la aplicación directa de calor, que fue uno de los procesos conceptuales que desarrollo Rojas & Mendoza (2011), concluyendo que este manejo de reducción solo tiene una eficiencia de un 20%.

En la selección de las alternativas de disposición final de los lodos generados, depende de varios factores como la cantidad y calidad de los lodos obtenidos en el tratamiento, las condiciones particulares del sitio y las condiciones financieras de cada caso en particular, donde muchas veces requiere de una alta inversión en infraestructura, siendo la única opción que dará la solución a la contaminación por lodos (García N. O., 2006). De acuerdo, a las investigaciones realizadas por Torres, Hernández, & Paredes (2012), se afirma que generalmente los lodos provenientes de las PTAP tienen un bajo nivel de nutrientes, donde se destinan a actividades silvícolas o a la distribución en suelos degradados por minería o canteras abandonadas, también en el sector de construcción para cemento y ladrillos, junto con el reuso del aluminio que se encuentra en los sólidos entre un 65 al 75%.

La recuperación del aluminio a partir de los sólidos, se dará en forma de sulfato, con la implementación de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) (el que se implementa con mayor frecuencia), ácido clorhídrico (HCl) y bases como el hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de calcio ( $Ca(OH)_2$ ) (Sandoval, Martín, Piña, & Montellano, 2005). La recuperación de aluminio desde la relación estequiométrica, se representa con la ecuación química que es retomada de Sandoval, Martín, Piña, & Montellano (2005), como se muestra a continuación:



Pero también, se puede de manera alternativa producir gas metano, debido a que los lodos pueden tener sustancias volátiles, especialmente las grasas, de las cuales influyen en el poder calorífico, que puede ir desde las 2840 calorías por kilogramo (cal/kg), hasta las 5700 calorías por kilogramo (cal/kg), es decir con un porcentaje de combustible entre el 49,6% hasta el 74% (Lothar,

1999). En consecuencia, muchas de las investigaciones realizadas en el tratamiento y disposición final lodos residuales, dentro de sus metodologías deben realizar análisis de laboratorio de caracterización, para obtener resultados puntuales de corrosividad, radioactividad, explosividad, toxicidad, biológico – infecciosos (CRETIB), así como los parámetros químicos (Rojas & Mendoza, 2011; (Cerón, Millán, Espejel, Rodríguez, & Ramírez, 2007).

Los lodos provenientes de las PTAP, tiene una caracterización particular, según Builes (2010), del cual hace referencia a unos parámetros de evaluación en diferentes plantas, y de acuerdo a varios autores. De tal manera, se señalará en la Tabla 2 lo anteriormente dicho por Builes (2010) que retoma la información de Penalva (1999).

**Tabla 2.** Caracterización de lodos provenientes de las PTAP, de acuerdo a varios autores y diferentes casos de estudio

AUTOR/AÑO	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SS (%SS)
NEUBAUER (1968)	30 – 150	500 – 15000	6,0 – 7,6	1100 - 16000	20 – 30%	NR
SUTHERLAND (1969)	100 – 232	669 – 1100	7,0	4300 – 14000	25%	80%
BUGG (1970)	380	1162 – 15800	6,5 – 6,7	4380 - 14000	20%	NR
ALBRECHT (1972)	30 – 100	500 – 10000	5,0 – 7,0	3000 – 15000	20%	75%
CULP (1974)	40 – 150	340 – 5000	7,0	NR	NR	NR
NILSEN (1974)	100	2300	NR	10000	30%	NR
SINGER (1974)	30 – 300	30 – 5000	NR	NR	NR	NR
CORDEIRO (1981)	30	5150	6,5	81575	20,7%	NR
VIDAL (1990)	449	3487	6,0 – 7,4	21972	15%	NR
VIDAL (1990)	173	1776	6,7 – 7,1	6300	73%	NR
CORDEIRO (1993)	NR	5600	6,4	30275	26,3%	NR
PATRIZZE (1998)	NR	NR	5,55	6112	19%	NR
PATRIZZE (1998)	NR	NR	6,8	6281	NR	NR

*Nota:* Recuperado y adaptado de “Monografía - Tratamiento y adecuada disposición de lodos domésticos e industriales”. Builes, S. (2010). Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

*NR\*:* Dato no reportado por el autor



A razón de lo anteriormente dicho, se establece que los impactos y efectos ambientales generados por la incorrecta disposición final de los lodos en Colombia, se cuantifican según el vertimiento de aguas residuales domésticas y no domésticas, de la cual varía de municipio a municipio hasta cierto punto, sin embargo se ha encontrado que un lodo primario (obtenido de los tratamientos primarios: sedimentadores y tamices) tiene una mayor concentración de sólidos que un lodo secundario, como fue encontrado en el estudio realizado por Limón (2013).

En Colombia, se han implementado diferentes estudios para la disposición final de lodos, pero no han sido del todo eficientes, ya que aproximadamente se generan en el país 274 toneladas de fangos en las Plantas de Tratamiento de Aguas Potable (PTAP), donde el 97% según los estudios de Dágner (2003), del cual propone un aprovechamiento final en el sector agrícola y pecuario, en la silvicultura, la biorremediación de suelos contaminados, elaboración de materiales de construcción y adecuación de zonas verdes.

## 6.2.MARCO CONCEPTUAL

### 6.2.1. Lodos

Los lodos son los materiales sólidos y semisólidos en suspensión o disolución que contiene el agua y que son removidos durante los procesos de tratamiento, donde los sedimentadores producen entre el 60 – 70% de los sólidos y en los filtros entre el 30 – 40% (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

### 6.2.2. Sólidos sedimentados

Estos sólidos, son todos aquellos en el que el tamaño de las partículas corresponde a 10 micras y se pueden sedimentar, ya que son más pesados que el resto, lo que permite que al tratarlos con los químicos se sedimenten en el fondo del lugar de tratamiento de aguas (García & Obregón, 2016).

### 6.2.3. Sólidos Suspendidos

Los sólidos suspendidos son un material particulado que crea condiciones adversas medioambientales y son de difícil eliminación en los tratamientos de las aguas residuales. Estas partículas son transportadas gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento de agua (IDEAM, 2007), además que son las que generalmente definen o indican los niveles de turbiedad en el agua y colmataciones de los lechos filtrantes (CINARA & IRC, 1999). Sin embargo, la Universidad del Valle en las investigaciones realizadas con los lechos filtrantes de grava y arena dicen que este es un parámetro muy sencillo y bastante confiable para evaluar la turbiedad (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

### 6.2.4. Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP)

Según ACSAM Consultores (2016), la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) es la matriz de estructuras y unidades físicas, químicas y biológicas donde ocurre el proceso de purificación y potabilización de agua.

### 6.2.5. Flujo hidráulico

El flujo hidráulico, según lo establecido por Saldarriaga (1998) es, desde un criterio mecánico, un fluido o sustancia de cualquier naturaleza que no puede resistir una fuerza cortante,

es decir, sí este llega a encontrarse con un esfuerzo o barrera que le impida su movimiento, el fluido se empieza a deformar, a menos que la fuerza que esta como barrera se reduzca. Por lo tanto, este fenómeno de deformación del fluido empieza a adquirir diferentes posiciones relativas de manera permanente. Consecuentemente, este movimiento relativo es lo que se conceptualiza como flujo hidráulico.

En contraste, la Universidad Nacional plantea o define que el flujo hidráulico está en relación con la profundidad que tiene que alcanzar, con respecto a su velocidad por unidad de área.

Es así, que esta condición de flujo por un canal o tubería se puede determinar por el desplazamiento de una partícula de fluido; la velocidad de una partícula; y la aceleración de la misma (Saldarriaga, 1998).

Complementariamente, debido a que el flujo es el estudio del movimiento se involucran ciertas leyes físicas del movimiento de una sustancia, el medio por el que se mueven, las propiedades del fluido y las características del medio ambiente. Esto, es según el capítulo 3 del libro de Dinámica de Fluidos.

Saldarriaga (1998), establece que el flujo puede ser flujo uniforme permanente, flujo uniforme no permanente, flujo variado permanente y flujo variado no permanente. Por lo tanto, las características de cada uno son:

- a. *Flujo uniforme permanente*: Ni la presión ni la velocidad de la partícula varían en el tiempo.
- b. *Flujo uniforme no permanente*: La presión y la velocidad en este flujo si varían en el tiempo pero no en el espacio.
- c. *Flujo variado permanente*: A diferencia del flujo uniforme no permanente este flujo varía en el espacio, pero no en el tiempo.
- d. *Flujo variado no permanente*: Este flujo varía con el espacio y con el tiempo. Sin embargo, es a nivel teórico, porque en la práctica es muy difícil que este se dé o se presente en una red de tuberías.

Por otro lado, según las observaciones de Reynolds según las velocidades del fluido, el flujo se divide en laminar y turbulento.

#### 6.2.6. Sedimentadores

Es la unidad física donde se capta el agua floculada, en el cual los floculos se decantan por la acción de su propio peso, hasta las cajas de acumulación de lodo (ACSAM Consultores, 2016).

#### 6.2.7. Optimizar

Es mejorar un proceso mediante diversas alternativas de solución, para satisfacer unos objetivos propuestos, a través de la formulación de un modelo y la validación del mismo (Ferrero & Chiotti, 1999). No obstante, el optimizar contribuirá al incremento de la calidad y eficiencia de un sistema (Secretaría de la Función Pública de México, 2016).

#### 6.2.8. Rentabilidad

La rentabilidad es el rendimiento que en un determinado momento generan las magnitudes utilizadas en el mismo, haciendo una comparación entre el beneficio generado y los recursos invertidos, como una variable descriptiva de resultados contables (Sánchez, 1994).

#### 6.2.9. Viabilidad financiera

La viabilidad financiera según lo conceptualizado por el IICA (1985) es la disponibilidad suficiente de fondos para formular un proyecto, atendiendo inversiones y capital de trabajo, de los cuales se determinan básicamente por los flujos de caja, estableciendo la rentabilidad de proyecto a nivel total y los beneficiarios. En conclusión, el objetivo de la viabilidad financiera mide la rentabilidad que retorna la inversión (medido monetariamente) (Sapag & Sapag, 2008).

#### 6.2.10. Viabilidad ambiental

La viabilidad ambiental es la evaluación o determinación del impacto y efecto que se genera, con la implementación de un proyecto sobre el entorno ambiental (Sapag, 2007). Por lo tanto, este tipo de viabilidad evaluará el daño ambiental residual y las mejoras ambientales que proporcionarán la inversión y los futuros costos y beneficios ambientales, que se incluyen en el flujo de caja (Sapag & Sapag, 2008).

### 6.3.MARCO LEGAL

El procedimiento legal para el manejo y disposición de lodos en Colombia, está regido principalmente por los entes territoriales, que tienen competencia en el ámbito ambiental, pero también, las entidades que prestan el servicio de acueducto y alcantarillado, debido a la problemática de contaminación en el aire, suelo, agua, flora y fauna, por parte de los lodos residuales no tratados de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Municipales (PTAPM).

*Decreto 1287 de 2014:* Aunque este decreto no es específicamente para los lodos de potabilización (sino por el contrario, es para los fangos de aguas residuales), se toma de referencia para su manejo y disposición final. Este decreto se estipula el 10 de julio del año 2014, donde se establecen los criterios para el uso de los biosólidos generados en las Plantas de Tratamiento de Agua Residual. De tal manera, esta norma permitirá establecer todos los procedimientos de estabilización y manejo de lodos, para así obtener un subproducto con una concentración inocua de compuestos y al final ser utilizados en una disposición óptima y adecuada.

*Decreto 1077 de 2015,* Se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, sin embargo se dan algunas disposiciones del manejo de los lodos residuales y la disposición final a estos, en cuanto a biosólidos. Estas disposiciones se encuentran en el capítulo 4, artículo 2.3.1.4.1.

*Decreto 3930 de 2010,* en el artículo 25, numeral 3, del cual define como una actividad no permitida arrojar los lodos en aguas superficiales.

*Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000, Título C, de Sistemas de Potabilización,* del cual establece las caracterizaciones, evacuación y disposición final para el estudio de los lodos; de otro lado, en su capítulo C.13.3.3, establece algunas alternativas para la disposición final de lodos.

*Resolución 2115 de 2007,* en el que se establece las características y valores máximos permisibles, entre otros, para la calidad del agua potable, que fue utilizada en la evaluación del rendimiento de la recuperación de alúmina.

*Norma Técnica Colombiana – NTC 4205,* que establece los valores para comparar las unidades de mampostería.

*40 – CFR Parte 503 – Normas para el uso o eliminación de lodos residuales:* La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), provee de una guía y de ciertos requerimientos normativos, que son aplicados en Colombia, para el manejo de lodos residuales generados durante el proceso de tratamiento de las Plantas de Tratamiento Municipales y la disposición final de biosólidos, así como los límites de los contaminantes, a frecuencia de seguimiento y mantenimiento de las obras de tratamiento (EPA, 1994).



## 7. METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto de investigación, estuvo con base a unos procesos característicos del *enfoque mixto* (Sampieri, Collado, & Lucio, 2010), es decir, las etapas de estudio, análisis e interpretación de la información recolectada a través de muestreos aleatorios se abordaron por una representación demostrativa y probatoria de las diferentes mediciones numéricas de las condiciones físicas, químicas, biológicas y microbiológicas de los lodos resultantes en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de la E.A.F. S.A.S. E.S.P. , así como los cálculos en los procesos de las diferentes alternativas que se llegaron a plantear; esto con el fin de que finalmente aguardaran una correlación necesaria de eficiencia, validez y objetividad a nivel general.

Es así, que la investigación se direccionó en un *diseño anidado* o también llamado *incrustado concurrente de modelo dominante (DIAC)* (Sampieri, Collado, & Lucio, 2010); debido a que cumplió con los señalamientos que estipula Sampieri, Collado, & Lucio, (2010), en la evaluación de cada una de las alternativas, en donde se realizó la recolección simultánea de datos cuantitativos y cualitativos, pero que de manera singular el que predominó en la investigación fue el enfoque cuantitativo, ya que este brindó la mayoría de los resultados necesarios para desarrollar todas las etapas metodológicas y analíticas del trabajo investigativo, proporcionando alternativas de usos y aprovechamiento a los lodos generados en la PTAP, incluyéndolos en la cadena de valor como insumos o materia prima para el desarrollo de procesos y que actualmente se disponen en el alcantarillado. En conclusión, el trabajo de grado requirió del uso de ciencias básicas aplicadas para el análisis y obtención de datos que implementaron la estadística para probar la reproducibilidad y repetitibilidad de las alternativas planteadas, así como las mediciones para encontrar la capacidad y eficiencia de los lodos finales, que permitieron llegar a la determinación de la mejor alternativa.

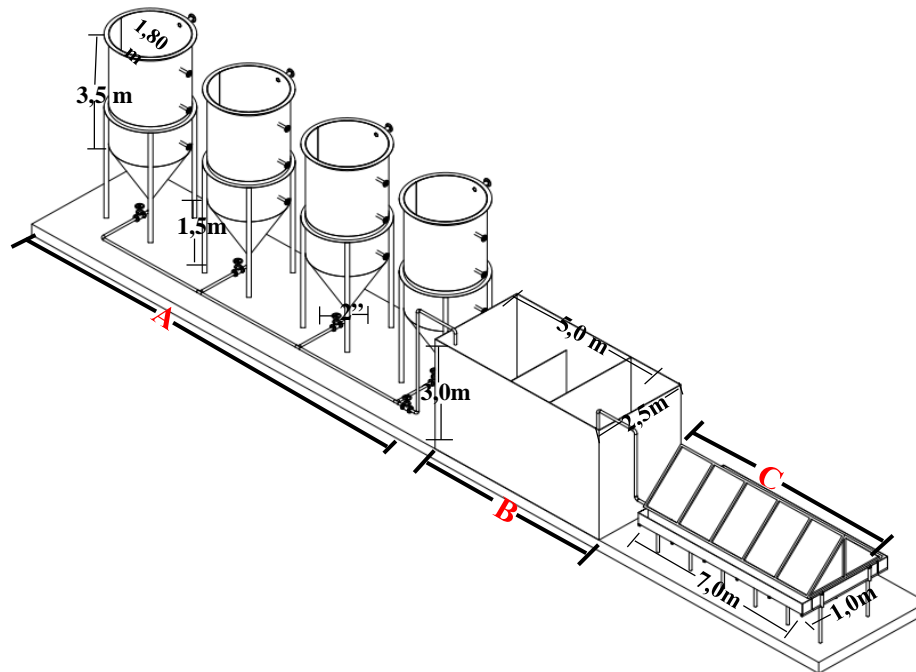
### 7.1. APARTADO 1: MUESTREO DE LODOS

El desarrollo experimental del muestreo de lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de la E.A.F. S.A.S. E.S.P. se enfocó en el proceso de decantación, específicamente en uno de los sedimentadores primarios convencionales, como se ilustra en la Figura 10, el cual constituye una de las secciones en donde llega la mayor cantidad de lodos provenientes de la floculación.



*Figura 10. Sedimentador primario convencional de la PTAP de la E.A.F. S.A.S. E.S.P.*

En relación a lo anterior, se adecuó con equipos un sistema (planta piloto) para el muestreo de este residuo, de acuerdo a dos preceptos; el primero estuvo dirigido hacia un enfoque de diseño preestablecido por el ingeniero de producción de agua de la E.A.F. S.A.S. E.S.P., que se ilustra en la figura 11 (Galindo, 2016).



- 
- A. Tanques de espesamiento de lodos
  - B. Evapotranspirador
  - C. Cama de secado con sistema de efecto lupa (45° de inclinación de los vidrios)
- 

Figura 11. Diseño de la planta de tratamiento de lodos de la E.A.F. S.A.S. E.S.P. a escala real. Tomado y adaptado de: (Galindo, 2016)

El segundo precepto está conforme a la revisión bibliográfica de los métodos de tratamiento planteados por Romero (1999) y Zhang, Hu, Lee, Chang, & Lee (2017).

En este sentido, la obtención de las muestras por medio de la planta piloto que se muestra en la Figura 12, involucró la línea de tratamiento por un espesado de lodos homogéneo, la cual inicia con el flujo de los mismos para impulsar los fangos desde el sedimentador convencional primario, a través de una electrobomba periférica de agua KPM50 con una potencia de 0.5 HP, a la cual se le instaló una tubería de 4 m de 1" con una válvula de pie que se dirigiera al fondo del sedimentador.





*Figura 12. Planta piloto para el muestreo de lodos del sedimentador primario*

De manera posterior, los residuos succionados fueron dirigidos a un tanque espesador de forma cónica de acero inoxidable por una tubería de  $\frac{1}{2}$ ", dejándolos decantar por 12 horas, de acuerdo a lo establecido por Cancino & Vargas (2015) que establece un tiempo mínimo de 4 – 6 horas.

Seguidamente, se pasó a un recipiente de forma cilíndrica que cumplió la función de evapotranspirador, donde permaneció un tiempo aproximado de 18 horas, dando continuidad hacía un lecho de secado cubierto por un vidrio que tenía un grosor de 5 mm y cuyo propósito era el secado por efecto lupa o invernadero, que permitía aprovechar la radiación solar. Sin embargo, esta última etapa perteneciente al tren de tratamiento de lodos se complementó para optimizar el tiempo de deshidratación, acondicionando un lecho de secado al aire libre, lo cual permitió que el exceso de agua fuera drenado por una malla porosa y una capa de arena; mientras los sólidos son acumulados sobre esta misma, haciendo mucho más eficiente el proceso, como lo es indicado por

Collard, Teychené, & Lemée (2016). Como consecuencia de los procesos mencionados anteriormente se relaciona en la Tabla 3 cada estructura de la planta piloto con sus dimensiones.

**Tabla 3.** Dimensiones de cada una de las estructuras de la planta piloto

	<i>Estructura</i>	<i>Dimensiones</i>
<b>ESPEADOR</b>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diámetro del cilindro [D]: 0,5m</li> <li>2. Diámetro menor del cono [d]: 0,05m</li> <li>3. Altura del cilindro [H]: 0,6m</li> <li>4. Altura del cono [h]: 0,33m</li> <li>5. Ángulo de inclinación del cono [<math>\beta</math>]: 52,853°</li> <li>6. Volumen del cilindro [V<sub>Ci</sub>]: 117,81 L</li> <li>7. Volumen total del cono [V<sub>Co</sub>]: 21,6 L</li> <li>8. Volumen útil del cono [VU<sub>Co</sub>]: 12,383 L</li> </ol> <p><b>VOLUMEN ÚTIL DEL TANQUE ESPEADOR [VU<sub>Co</sub>]: 130,193 L<sup>1</sup></b></p>
<b>BOMBA DE SUCCIÓN</b>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Electrobomba periferica</li> <li>2. Potencia: 0,5 HP</li> <li>3. Monofásica</li> <li>4. Boca: 1"</li> <li>5. Caudal de distribución: 6 – 40 L</li> </ol>

<sup>1</sup> El volumen total útil del tanque se calculó a partir de la fórmula  $V = \frac{\pi(D^3-d^3)}{24 \tan(\beta)} + \frac{\pi}{4} D^2 H$ , planteada por González & Niño (2006).

VÁLVULA DE PIE



1. Válvula de 1"
2. Mantiene cebada la bomba

EVAPOTRANSPIRADOR



1. Diámetro del evaporador [D]:  
0,4m
2. Altura del evaporador [H]: 0,39m

**VOLUMEN DEL  
EVAPOTRANSPIRADOR [V<sub>E</sub>]: 49,008 L**



**LECHO DE SECADO CUBIERTO**

1. Ancho del lecho de secado [ $A_c$ ]: 0,4m
2. Largo del lecho de secado [ $L_c$ ]: 0,6m
3. Profundo del lecho de secado [ $P_c$ ]: 0,25m

**VOLUMEN DEL LECHO DE SECADO CUBIERTO [ $V_{Lc}$ ]: 60L**

**LEHO DE SECADO AL AIRE LIBRE**

1. Ancho del lecho de secado [ $A_{AL}$ ]: 0,85m
2. Largo del lecho de secado [ $L_{AL}$ ]: 0,5m
3. Profundo del lecho de secado [ $P_{AL}$ ]: 0,12m
4. Alto de la capa de arena [ $CA$ ]: 0,08 m

**VOLUMEN DEL LECHO DE SECADO AL AIRE LIBRE [ $V_{AL}$ ]: 0,051m<sup>3</sup>**

El periodo de muestreo inicio en el mes de junio, hasta el mes de octubre del presente año, logrando un total de 8 muestras de aproximadamente un volumen de 120 L cada una, como se evidencia en la Tabla 4. Lo anterior se llevó a cabo, teniendo en cuenta las condiciones de operación de la planta y la posibilidad de acceder a las instalaciones en esos tiempos.

Con la frecuencia de muestreo realizada se evidenció los cambios en las condiciones físicas, químicas y microbiológicas en los lodos, como olor, color, temperatura y pH durante el periodo muestreado, dando la posibilidad de la determinación de la identificación de las alternativas de uso. Adicionalmente, se obtuvo la cantidad suficiente de muestra para los análisis de laboratorio requeridos, junto con el desarrollo de los procesos implementados en las alternativas a evaluar.

**Tabla 4.** Frecuencia de extracción de muestras de lodos en la PTAP de la E.A.F. S.A.S. E.S.P

MES →	Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre			
NÚMERO DE MUESTRA ↓	SEMANA ↓																			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1		■																		
2					■															
3											■									
4										■										
5											■									
6												■								
7														■						
8																■			■	
<b>Total →</b>	<b>8 muestras</b>																			

## 7.2.APARTADO 2: CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y BIOLÓGICA DE LOS LODOS

### 7.2.1. CARACTERIZACIÓN DE LODOS EN LABORATORIO EXTERNO

El laboratorio escogido para realizar la caracterización de los lodos fue el laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC -, siguiendo estrictamente la guía metodológica indicada por ellos para el desarrollo técnico, en cuanto a las condiciones de muestreo y preservación de los lodos para lograr resultados confiables en la caracterización físico – química, biológica y microbiológica de los mismos.

A partir de lo anterior, se colectaron 3 kg de lodos obtenidos del último proceso de secado (lecho de secado al aire libre)<sup>2</sup>, donde se almacenaron en papel aluminio como se muestra en la Figura 13, para llevarlos a una mufla en las instalaciones de los laboratorios de la Universidad de Cundinamarca, Extensión Facatativá por 14 horas a 105°C, según la metodología de secado térmico practicada por Calvo, Otero, Morán, & García (2001) y posteriormente a 60°C por 12,583 horas (12 horas y 35 minutos), de acuerdo a lo adaptado de Leal, Bedoya, & Lozada (2013), logrando finalmente una muestra sólida con un porcentaje de humedad menor al 10%.



*Figura 13. Lodos para proceso de secado térmico*

<sup>2</sup> La recolección de los lodos fue por muestreo compuesto con la succión de muestras aleatorias simples durante una semana, para garantizar que los resultados de los análisis fueran representativos.

Las muestras fueron empacadas en bolsas con cierre hermético asegurando que no tuvieran aire. Estas se transportaron el mismo día en el que se obtuvieron los lodos totalmente secos (ver Figura 14); los resultados fueron reportados 15 días hábiles después.



Figura 14. Empacado de muestra para el laboratorio del IGAC

El tipo de pruebas realizadas por parte del Laboratorio de Suelos del IGAC se evidencian en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Pruebas realizadas a los lodos en el Laboratorio de Suelos del IGAC

<i>Código de Prueba</i>	<i>Nombre de la Prueba</i>
Q – 01	Capacidad de Intercambio Catiónico, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Fósforo, Saturación de bases (calculado), Carbono Total y pH.
Q – 62	<i>Caracterización y control de calidad de compost y abonos:</i> Nitrógeno, Fósforo, pH, Calcio, Magnesio, Hierro, Cobre, Manganeso, Boro, Azufre, Ensayo de Respiración, Prueba de inhibición de germinación, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, <i>Salmonella</i> , Nematodos, Patógenos o Huevos de Helmintos y <i>Escherichia Coli</i> .

## 7.2.2. PRUEBAS COMPLEMENTARIAS EXPERIMENTALES REALIZADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN

### 7.2.2.1. Análisis físico – químicos

En el muestreo de los lodos se realizaron unas pruebas complementarias a la caracterización de los mismos, en donde se midieron parámetros físico – químicos en el laboratorio de la E.A.F. S.A.S.

E.S.P., de acuerdo a las técnicas del *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Rice, R.B., dC, & Clesceri, 2012). En cuanto a las pruebas físicas – químicas se midió el potencial de hidrogeno (pH), sólidos disueltos (SD), conductividad eléctrica (CE) y temperatura (° T) por duplicado y sólidos sedimentables (SS) sin repetición a las 8 muestras extraídas; los métodos analíticos implementados se especifican en el [Anexo 1](#).

De igual forma, se monitoreo el porcentaje de humedad adoptando la metodología del *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000, Título C (Sistemas de potabilización), Capítulo C.13.3* (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Inicialmente se deseco un beaker durante 30 minutos a 105°C en una plancha calefactora *WiseStir MSH – 20D*; este se dejó enfriar y se pesó en una balanza analítica *Sartorius TE4101*, como se evidencia en la Figura 15. Consecutivamente se adicionó 1L de muestra al beaker y se pesó (ver Figura 16), colocándola en la plancha durante 5 horas a 52,2 °C (ver Figura 17); finalizado este tiempo se dejó enfriar, para ser pesado nuevamente.

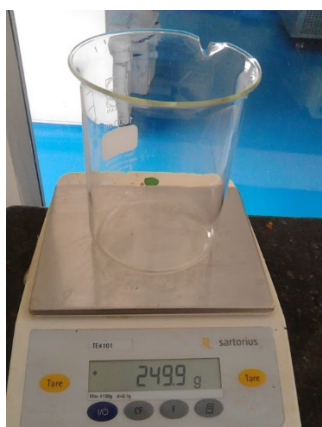


Figura 15. Pesaje del beaker después del proceso de desecado



Figura 16. Pesaje del beaker con la muestra de lodo

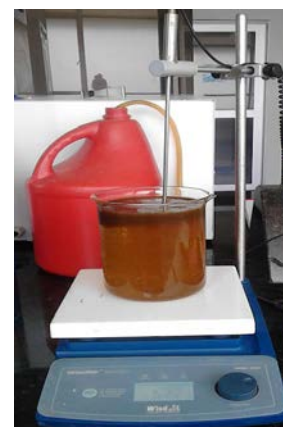


Figura 17. Calentamiento de la muestra a 52,2°C

Ahora bien, el porcentaje de humedad (%H) se calculó a partir de los fundamentos planteados por el Instituto de Salud Pública de Chile (2003). La ecuación que se implementó en la cuantificación de la humedad se presenta a continuación:

$$\%H = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} * 100\%$$

Donde,

%H: Porcentaje de humedad                      M<sub>2</sub>: Masa del beaker con la muestra antes del secado [g]  
M<sub>1</sub>: Masa del beaker vacío [g]                      M<sub>3</sub>: Masa del beaker, más la muestra desecada [g]

Por otra parte, también se obtuvo porcentaje de sólidos en el lodo [ $\%P_s$ ], densidad relativa del lodo [ $\delta_{Lodo}$ ] y velocidad de sedimentación de las partículas del lodo [ $v_{sed}$ ] por método de cálculo, las cuales se detallan en el *numeral 7.1.2.1*.

#### 7.2.2.2. Cuantificación de lodo

En un inicio se pretendía determinar cuantitativamente los lodos generados en el proceso de potabilización de la E.A.F. S.A.S. E.S.P. por medio del resultado de las curvas que los fangos dejan en las paredes del sedimentador, sin embargo la aplicación de este método directo no se pudo implementar principalmente por el acceso a la estructura. Adicionalmente, también se pudo comprobar que las inflexiones marcadas en el tanque no son netamente de los residuos, sino también de las algas adheridas y su coloración, así como de la corrosión que no permite evidenciar los posibles cambios en el tiempo, lo que hizo que no fuera una técnica aplicable en este caso.

Es por esto que se consideró consultar bibliografía para dimensionar la producción de lodos por medio de modelos teóricos, teniendo en cuenta que los fangos son una composición de material orgánico e inorgánico arrastrado por la fuente de agua a tratar, junto con el coagulante de alúmina. De este modo, se adoptó la expresión matemática usada por Fernández (2003), en donde se tuvo en cuenta la relación de dosis de coagulante adicionado, la turbiedad, los sólidos suspendidos y lo que se produce de sólidos inorgánicos de aluminio al agregar un 1mg/L de sulfato de aluminio, que es aproximadamente 0,44 mg/L. Por lo tanto, la cantidad de lodo calculada se expresó mediante la siguiente fórmula:

$$S = 86,4Q(0,44 Al + SS + A)$$

Donde,

S: Lodo producido en base seca [kg/día]

Al: Dosis de sulfato de aluminio [mg/L]

86,4: Factor de conversión

SS: Sólidos suspendidos del agua cruda [mg/L]

Q: Caudal de agua tratada [m<sup>3</sup>/s]

A<sup>3</sup>: Productos químicos adicionales (≈0) [mg/L]

0,44: Constante (sólidos inorgánicos de aluminio)

Análogamente, también se usó la fórmula implementada por Roza & Suta (2011), quienes citan el texto de *Acuipurificación* de Romero (1997), en donde se establece una relación de los sólidos suspendidos y la turbiedad en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT), de manera aproximada. La expresión matemática es:

$$S = (UNT + 0,3Al) * Q * 10^{-3}$$

Donde,

S: Lodo producido en base seca [kg/día]

Al: Dosis de sulfato de aluminio [mg/L]

UNT: Turbiedad del agua cruda [UNT]

Q: Caudal de agua tratada [m<sup>3</sup>/día]

10<sup>-3</sup>: Factor de conversión

0,3: Constante

### 7.2.2.3. Análisis microbiológicos

#### A. Banco de diluciones seriadas

La técnica de diluciones seriadas se implementó como una de las mejores alternativas para realizar el recuento en placa de células bacterianas en los lodos (Aquiahuatl (2004); Olivas (2012)), en donde se preparó el material para esterilizar incluyendo cajas Petri, medios de cultivo, tubos de ensayo de tapa rosca, puntas de micropipeta (2 – 100 microlitros) y registro de las condiciones de cabina de flujo laminar.

En condiciones esteriles se tomaron 90 ml de agua salina isotónica, agregando 10 ml de lodo homogenizado con micropipetas de puntas esteriles de 2 – 100 microlitros (µl) y 2 gotas del

---

<sup>3</sup> Son otros productos que se adicionan al tratamiento de potabilización como coadyuvantes del sulfato de aluminio; estos pueden ser polímeros, arcilla, arena, antracita o carbón activado, entre otros. En los casos en donde no se agregan el valor de la variable “A” adquiere el valor de 0.



reactivo *Twin 80*. Posteriormente, se cerró el frasco de rosca SCHOTT y se agitó por 30 minutos a 180 RPM (revoluciones por minuto), donde esta correspondió a la dilución  $10^{-1}$ .

Así mismo, se inició con la adición de 4,5 ml de agua salina isotónica estéril al 0,85% en 6 tubos de ensayo, donde inmediatamente se tomó 0,5 ml (con micropipeta de punta estéril purgada) de la solución preparada con la suspensión bacteriana y se transfirió al tubo de la dilución  $10^{-2}$ , agitando vigorosamente durante 5 segundos antes de tomar la alícuota. Seguidamente, del tubo de la dilución  $10^{-2}$  se hizo el paso de 0,5 ml al tubo de la dilución  $10^{-3}$ , y se volvió a realizar la agitación en el vortex. De manera consecutiva, se repitió el procedimiento seriado hasta la dilución  $10^{-6}$  como se muestra en la Figura 18, cambiando las puntas cada vez que se realizaba el pase a cada tubo.

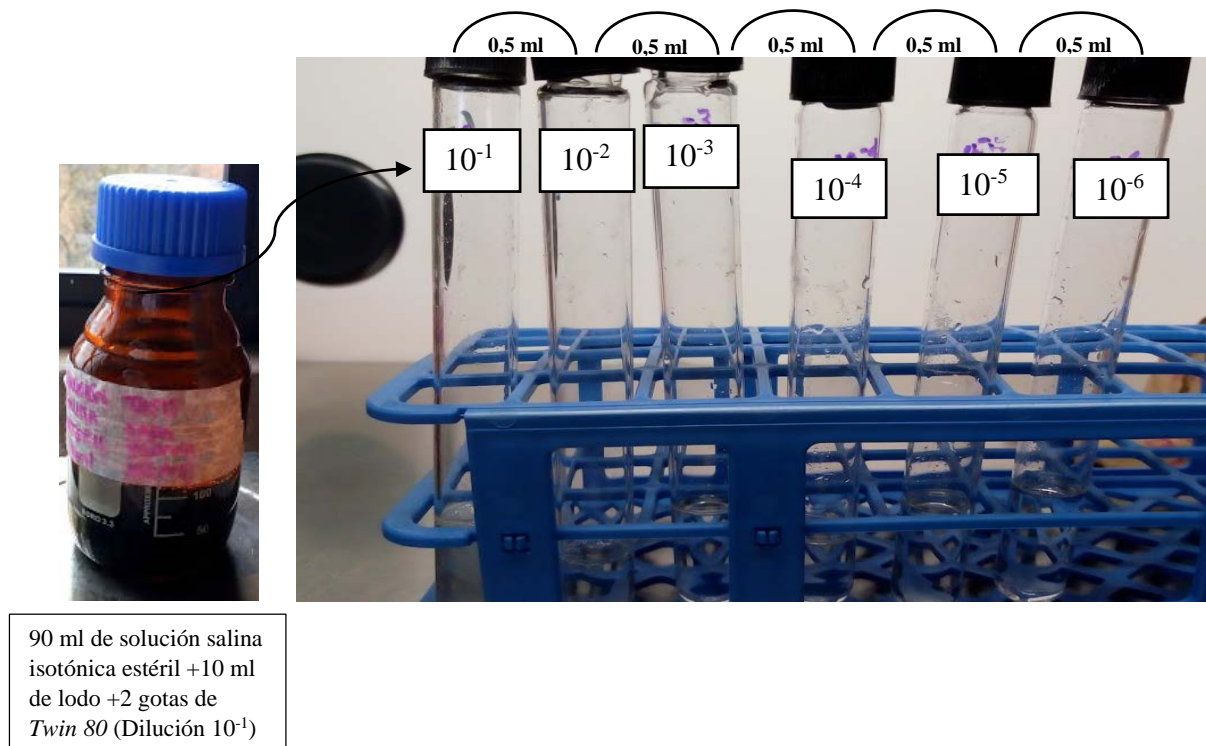


Figura 18. Diluciones seriadas para recuento microbiano de los lodos



Se alistaron 12 cajas Petri con los medios implementados<sup>4</sup> para realizar la siembra correspondiente a cada dilución (por duplicado), en donde se tomó el agar Rosa de Bengala (dilución  $10^{-1}$  y la dilución  $10^{-2}$ ), agar Eosina y Azul de Metileno – EMB – (dilución  $10^{-4}$  y dilución  $10^{-5}$ ) y agar Nutritivo (dilución  $10^{-5}$  y dilución  $10^{-6}$ ). En cada una de las cajas Petri se adicionaron 0,1 ml de cada dilución correspondiente con la micropipeta distribuyendo la alícuota con la espátula Drigalski (flameando antes de cada siembra); consecutivamente, se puso a incubar a  $36^{\circ}\text{C}$  los medios de agar Nutritivo, junto con el EMB; en cuanto al agar Rosa de Bengala se dejó por 5 días a temperatura ambiente y pasado estos tiempos se procedió a realizar lectura macroscópica con un estereoscopio y lectura microscópica con un microscopio óptico (Ruiz, 2016).

En el [Anexo 2](#) se presenta el registro fotográfico de la preparación de material, de los agares y del agua salina isotónica al 0,85%, así como los cálculos de elaboración y propiedades de los agares.

#### *B. Identificación de bacterias Gram – Positivas por el Sistema BBL Crystal*

Una muestra de lodo se sembró por técnica de siembra masiva en agar Nutritivo por duplicado, donde posteriormente se puso a incubar a  $36^{\circ}\text{C}$  por 24 horas; pasado este lapso, se realizó lectura macroscópica y microscópica de la morfología de las colonias que crecieron en el medio.

En cuanto, a la identificación microscópica se hizo necesario realizar la tinción diferencial de fijación de Gram o Ziehl – Neelsen (Jácome, y otros, 2014), siguiendo el procedimiento de la Tabla 6.

**Tabla 6.** Procedimiento realizado para la tinción de Gram

TINCIÓN DE GRAM	
<b>1</b>	Inicialmente se tomó la colonia a identificar, extendiendo la muestra en una lámina portaobjetos y en donde se dejó secar
<b>2</b>	Posteriormente, se agregó cristal violeta, dejando actuar el colorante por 1 minuto. Este se enjuagó con agua destilada de

<sup>4</sup> Los medios agar nutritivo y EMB que se implementaron se les realizó el control mediante incubación sin inóculo por 24 horas, donde no hubo crecimiento microbiano. En cuanto al agar Rosa de Bengala se dejó por tres días y tampoco hubo crecimiento fúngico.

a temperatura ambiente con ayuda de un mechero para fijar la estructura microbiana.	manera cuidadosa evitando el desprendimiento de la muestra.
<b>3</b> En seguida, se agregó lugol y se dejó actuar por 1 minuto. Pasado este tiempo se enjuagó con agua destilada.	<b>4</b> Después se adicionó 2 gotas de alcohol acetona que actúa como decolorante y así se esperó 30 segundos; luego se enjuagó con agua destilada
<b>5</b> Se aplicó el colorante de contraste, que es la safranina o fucsina básica y se esperó un minuto. Se enjuagó con agua destilada.	<b>6</b> Finalmente, se realizó lectura microscópica con el objetivo 40x y el objetivo de inmersión (100x).

*Nota: Las bacterias Gram – Positivas son las que se tiñen de azul oscuro o violeta, en cambio las Gram – Negativas son las que adquieren un color rosado.*

Consecuentemente, se procedió a realizar la identificación bioquímica de las bacterias Gram – Positivas encontradas previamente en la tinción de Gram, para llevarlas a reaccionar en el Sistema BBL<sup>TM</sup> Crystal<sup>TM</sup> (Equipo para la identificación de bacterias Gram – Positivas), el cual es una técnica de identificación en miniatura que utiliza substratos convencionales, fluorogénicos y cromogénicos modificados de métodos clásicos ya implementados (Becton & Dickinson, 2016). Por lo tanto, en estas pruebas se incluye reacciones de oxidación, degradación e hidrólisis de múltiples sustancias que se utilizan por las bacterias para ser metabolizadas por medio de enzimas.

El Sistema BBL<sup>TM</sup> Crystal<sup>TM</sup> se compone de una tapa de panel de identificación, una base con 30 pocillos para las reacciones, tubos de fluido de inóculo<sup>5</sup>, 29 substratos enzimáticos y bioquímicos deshidratados y un control fluorescente en las puntas de las púas de plástico (ver la Figura 19). Lo anterior permite que las bacterias utilicen y degraden los substratos específicos detectados por varios indicadores.

<sup>5</sup> Los tubos de fluido de inóculo en el BD BBL Crystal para gram – positivos incluye ANR (aminoglucosidos), GP RGP (Gram – Positivos) y N/H (*Neisseria/Haemophilus*) (Moreira, Nastro, Vay, Famiglietti, & Rodríguez, 2015).



- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Tubos de fluido de inóculo      | 4. Bloc de informes BD BBL Crystal |
| 2. Paneles inoculados y sellados   | 5. Base con los 30 pocillos        |
| 3. Tapa de panel de identificación |                                    |

Figura 19. Sistema de Identificación (ID) BBL Crystal. Fuente: (Becton & Dickinson, 2016)

Finalmente, se siguió el procedimiento de la prueba establecido por *Becton, Dickinson and Company* (dirigirse al [Anexo 3](#)), el cual se fijó en el manejo del sistema, en cuanto a utilización del panel e inoculación; la incubación; la lectura y el cálculo del perfil. Cabe resaltar que la lectura que esta con base a los colores, debe revisarse conforme a la tabla de los ingredientes activos y su reacción (positivo o negativo), la cual se encuentra en el [Anexo 4](#).

### C. Identificación de hongos por micro – cultivos

En la identificación morfológica de los hongos que crecieron en el agar Rosa de Bengala por diluciones y agar extracto de levadura – glucosa – oxitetraciclina (OGYE) por siembra directa en superficie, se implementó el método de micro – cultivos para observar la estructura fúngica *in situ* macroscópicamente (Rodríguez & Chico, 2013); no obstante, la metodología del aislamiento fúngico señalada en la Tabla (7) fue adaptada de Scudiere, Shoemaker, Paull, Monks, Tierney, Nofziger, Currens, Seniff & Boyd (1988); Trujillo, Rodríguez, Cruz, & Esparza (2015) y la de Guamán & Ochoa (2016).

Tabla 7. Procedimiento metodológico de micro – cultivos

MICRO – CULTIVOS PARA AISLAMIENTO DE HONGOS	
<p><b>1</b> Se tomaron cuatro (4) cajas Petri con un disco de papel absorbente en cada una, poniendo encima 2 tubos de soporte, que sirvieron en el sostenimiento de una lámina portaobjetos y una lámina cubreobjetos, como se muestra en la Figura 20 (Este montaje forma una cámara para micro – cultivos).</p>	<p><b>2</b> Posteriormente, se puso a esterilizar este material en la autoclave a una temperatura de 121 ° C por un lapso de 15 minutos.</p>
<p><b>3</b> En la cámara de flujo laminar se cortaron discos de agar extracto de levadura – glucosa – oxitetraciclina (<i>OGYE</i>) de 0,5 mm de grosor, poniendo uno en cada portaobjetos estéril (ver Figura 21).</p>	<p><b>4</b> Cada uno de los discos fueron inoculados con el hongo que creció en el agar Rosa de Bengala y OGYE con ayuda del asa micológica.</p>
<p><b>5</b> La lámina cubreobjetos se sobrepuso sobre el disco de agar y se cerró la caja Petri (ver Figura 22).</p>	<p><b>6</b> Los tres montajes obtenidos se llevaron a incubar a 30 °C por 7 días. Después observó a nivel macroscópico las colonias mediante un estereoscopio.</p>



Figura 20. Cámara de microcultivos listos para esterilizar



Figura 21. Discos cortados de agar OGYE para las cámaras de los microcultivos

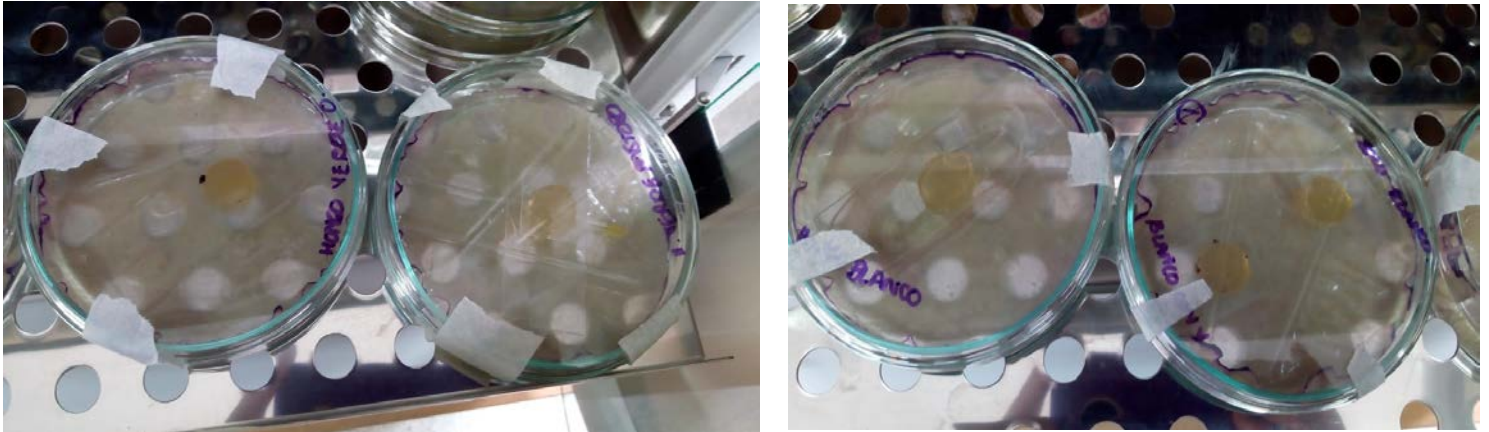


Figura 22. Montajes con el disco de agar OGYE inoculados, listos para inocular

### 7.3. APARTADO 3: METODOLOGÍAS EXPERIMENTALES APLICADAS PARA LAS ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS DE POTABILIZACIÓN

#### 7.3.1. RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO

##### 7.3.1.1. Acidificación de lodos

El proceso de recuperación del coagulante (sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) implementado en la potabilización de agua de la E.A.F. S.A.S. E.S.P., se logró mediante la metodología de acidificación por ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) al 95 – 97% de pureza, reduciendo la masa, el volumen y mejorando la deshidratación de los lodos (Carpio, Vladimir, & Ruiz, 2016).

Acidificar los lodos para la extracción del sulfato de aluminio es uno de los procedimientos más eficientes, debido a que disminuye las cantidades de hidróxido de aluminio ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) y metales presentes, aunque no de manera completa (Ahmad T. , Ahmad, Ahad, & Alam, 2016).

De esta forma, el procedimiento que se siguió fue conforme a lo desarrollado por Gallo & Uribe (2003); Carpio, Vladimir, & Ruiz (2016) y Ahmad, Ahmad, & Alam (2016), los cuales ejecutaron ensayos de tratabilidad.

En el equipo de jarras (6 jarras en total), *E&Q floculador*, se dispuso un volumen de 2000 ml de lodo por cada unidad, homogenizando durante 15 minutos la muestra con un gradiente de

velocidad de 100 RPM<sup>6</sup>, dosificando ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) hasta alcanzar un pH de 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 (la primera jarra era una muestra inicial de lodo, es decir que no se acidificó), siendo evidenciado en la Figura 23. Continuando con los ensayos de lixiviación del coagulante a partir de los lodos se continua agitando, tomando muestras del mismo a los 30 minutos, para medir aluminio residual (Al<sup>+3</sup>). El lodo se dejó decantar por 24 horas y así se filtró cada una de las muestras acidificadas, en donde se analizó el aluminio.

Seguido por esta técnica, el pH que tuvo mayor concentración de Al<sup>+3</sup> se le repitió el proceso de ensayo de tratabilidad, pero ahora recogiendo muestras a los 5, 30 y 60 minutos, midiendo en cada tiempo aluminio y hierro por método fotométrico, adecuados a los kits spectroquant de laboratorios MERCK®.



Figura 23. Ensayos de tratabilidad para la recuperación de sulfato de aluminio

Las variables que estuvieron presentes en la experimentación de la recuperación del sulfato de aluminio se describen en la Tabla 8.

<sup>6</sup> Se debe tener en cuenta que la velocidad de agitación es una variable que se dejó constante, en un valor de 100 RPM.



**Tabla 8.** Variables dependientes e independientes presentes en la recuperación del coagulante primario en los ensayos de tratabilidad

<i>Variables Independientes</i>	<i>Variables Dependientes</i>
pH de acidificación	Volumen gastado de ácido sulfúrico por cada jarra
Tiempo de mezcla	Aluminio residual
Velocidad de agitación	Hierro

A partir de desarrollar las mediciones por triplicado, se hizo un tratamiento estadístico de descarte de datos mediante la prueba de “Q”, que es una prueba estadística de rechazo de datos utilizada frecuentemente en el análisis químico (Connors, 1981) y de la cual se efectuó por la sustracción de los posibles datos dudosos en cada ensayo. El cálculo se obtuvo desde la tabla de las variables de  $Q_{crit}$  de Dixon presentada en el [Anexo 5](#) con un 95% de confianza para 3 datos, con la siguiente expresión matemática:

$$Q_{exp} = \left| \frac{\text{Valor sospechoso} - \text{Valor más cercano}}{\text{Valor mayor} - \text{Valor menor}} \right|$$

El valor se rechaza sí  $Q_{exp} > Q_{crit}$ .

### 7.3.1.2. Ensayos de tratabilidad para medir la eficiencia de la recuperación del Sulfato de Aluminio

La eficiencia de recuperación de sulfato de aluminio está con base al rendimiento de remoción de color, turbiedad, pH, residual de aluminio y de hierro en las pruebas de tratabilidad, las cuales simulan las etapas de coagulación y floculación de la PTAP del agua cruda que abastece la planta de la E.A.F. S.A.S. E.S.P.

Consecuentemente, realizar la implementación de este residuo como coadyuvante en la coagulación y floculación de la potabilización de agua se convierte en un *reactivo de lodo*, como es determinado por Ahmad, Ahmad, Ahad, & Alam (2016), de tal manera, el análisis metódico que se implementó para determinar la eficiencia del lodo como reactivo, fue el de Jung, Hwang,

Park, & Ahn (2016). En relación a lo anterior, el ensayo de jarras fue elaborado de acuerdo a lo consignado en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Procedimiento de ensayo de jarras para evaluar el rendimiento del lodo como coagulante reactivo

ENSAYOS DE TRATABILIDAD CON LODO COMO COAGULANTE	
<b>1</b>	Inicialmente a la muestra de agua cruda se le realizó la medición de turbiedad (UNT), color aparente (UPC), temperatura (T°) y pH.
<b>2</b>	En cada uno de los 6 vasos del equipo de jarras se adicionaron 2 litros (L) de agua cruda.
<b>3</b>	Se realizó la programación de la agitación al máximo del equipo de jarras para lograr una homogenización de las muestras de la matriz agua.
<b>4</b>	Posteriormente se prepararon 2 soluciones de lodo a una concentración del 1% y 2% (%V/V), como se muestra en la Figura 24, para dosificar en total las 6 jarras (3 jarras con lodo al 1% y las otras 3 al 2%). Esto corresponde a las jarras a las cuales se les adicionó lodo sin acidificar y lodo acidificado a pH de 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0.
<b>5</b>	En el tratamiento de adición de coagulante de alúmina comercial, junto con lodo, las dosificaciones se encuentran en el <a href="#">Anexo 6</a> .
<b>6</b>	Luego se ubican las paletas del equipo de jarras dentro de cada uno de los 6 vasos, verificando que todas las paletas estén centradas en las jarras.
<b>7</b>	Durante la agitación con la pipeta se añadió el lodo en cada vaso en cantidades diferentes, en donde las primeras 3 jarras se les transfirió un volumen creciente (5 ml, 10 ml y 15 ml) de lodo al 1% y en las siguientes 3 (también con un volumen creciente de 5 ml, 10 ml y 15 ml) lodo al 2%. Adicionalmente, se
<b>8</b>	Pasados aproximadamente 60 segundos de agitación rápida se disminuyó las revoluciones de rotación de las paletas a 100 RPM por 1 minuto.



	adicionó 0,5 ml de cal al 2% para estabilizar el pH.	
<b>9</b>	A los 5 minutos de rotación se disminuyeron las revoluciones a 40 RPM.	<b>10</b>
		A los 7,5 minutos se redujeron a 30 RPM. Así, pasado este tiempo se bajó la velocidad a 20 RPM por 7,5 minutos.
<b>11</b>	Cuando finaliza la rotación a 20 RPM, se dejó sedimentar por 20 minutos (se suspendió la agitación).	<b>12</b>
		Luego de la sedimentación en cada una de las 6 jarras se procedió a determinar el color, la turbiedad, pH, y temperatura del agua en cada una de ellas. Adicionalmente, también se midió hierro y aluminio pero solo a la jarra que presentó una reducción significativa de color y turbiedad.

En la Tabla 10 se registra las figuras del procedimiento del ensayo de jarras para determinar el rendimiento de lodo sin acidificar y a los diferentes pH de acidificación.

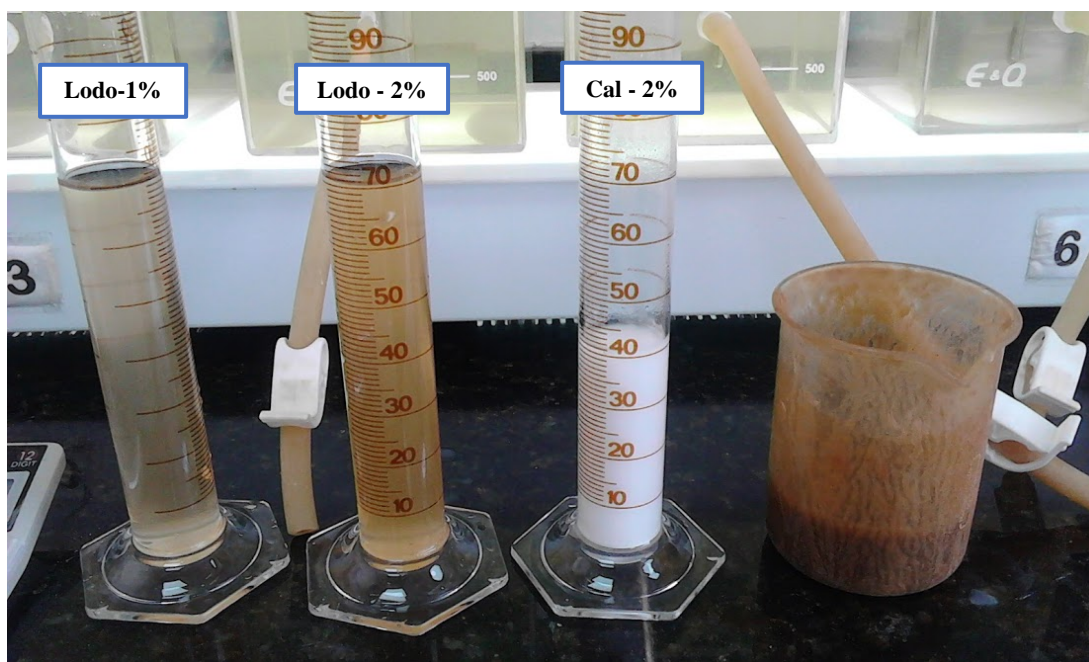
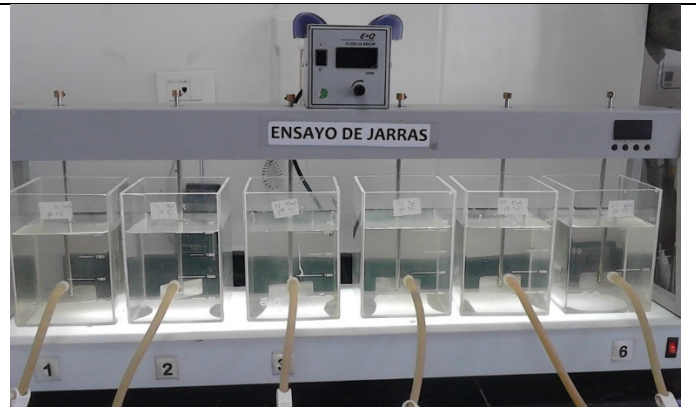


Figura 24. Solución de lodo al 1% - 2% y solución de cal al 2%

*Tabla 10. Registro fotográfico de los ensayos de jarras para evaluación del rendimiento de recuperación de coagulante*



Blanco – Sin acidificación



pH:1,0



pH:1,5



pH:2,0



pH:2,5



pH:3,0

Es decir, la eficiencia está en razón de la turbiedad y color inicial con respecto a la turbiedad y color final.

De acuerdo a lo anterior, este porcentaje se calculó a partir de las siguientes expresiones matemáticas:

$$\%E_T = \frac{T_i - T_f}{T_i} * 100; \%E_C = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Donde,

$\%E_T$ : Eficiencia de remoción de turbiedad [%]

$T_f$ : Turbiedad final luego de la prueba de tratabilidad [UNT]

$\%E_C$ : Eficiencia de remoción de color [%]

$C_i$ : Color inicial del agua cruda [UPC]

$T_i$ : Turbiedad inicial del agua cruda [UNT]

$C_f$ : Color final luego de la prueba de tratabilidad [UPC]

Al llegar a este punto procedimental se dice que las variables que influyen en la evaluación del rendimiento de la recuperación de sulfato de aluminio se presentan en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Variables dependientes e independientes presentes en la evaluación de la eficiencia de la recuperación de sulfato de aluminio

<i>Variables Independientes</i>	<i>Variables Dependientes</i>
Volumen dosificado de lodo	Turbiedad
Relación dosificada de lodo/coagulante de alúmina comercial	Color
Fuente de agua cruda	pH
-	Aluminio residual
-	Hierro
-	Dureza
-	Alcalinidad

### 7.3.2. LODO COMO ACONDICIONADOR DE SUELO

Los ensayos elaborados para verificar la capacidad del lodo de alumbre como acondicionador de suelo estuvieron sujetos a pruebas de laboratorio. Consecuente a lo anterior, se prepararon procedimientos de comprobación de la viabilidad de las semillas, de germinación e inhibición de las mismas y de compostaje. De esta forma, a continuación se describe el procedimiento de cada una de las técnicas implementadas.

#### 7.3.2.1. Viabilidad de semillas

Realizar el control de las semillas es importante, debido a que muchas veces no germinan tras su dispersión y afectan los futuros resultados, ya sea porque son durmientes, o las condiciones ambientales no les son favorables o simplemente porque ya están muy maduras y tienden a deteriorarse causando dos dificultades, la primera, que no proliferen plántulas sanas y la segunda que no crezcan (Pérez & Pita, 2012). En este sentido, se siguió análogamente los métodos de Rojo, Sierra, Gómez, & Restrepo (2012) y García, Farrera, Paradela, & Ramírez (2013).

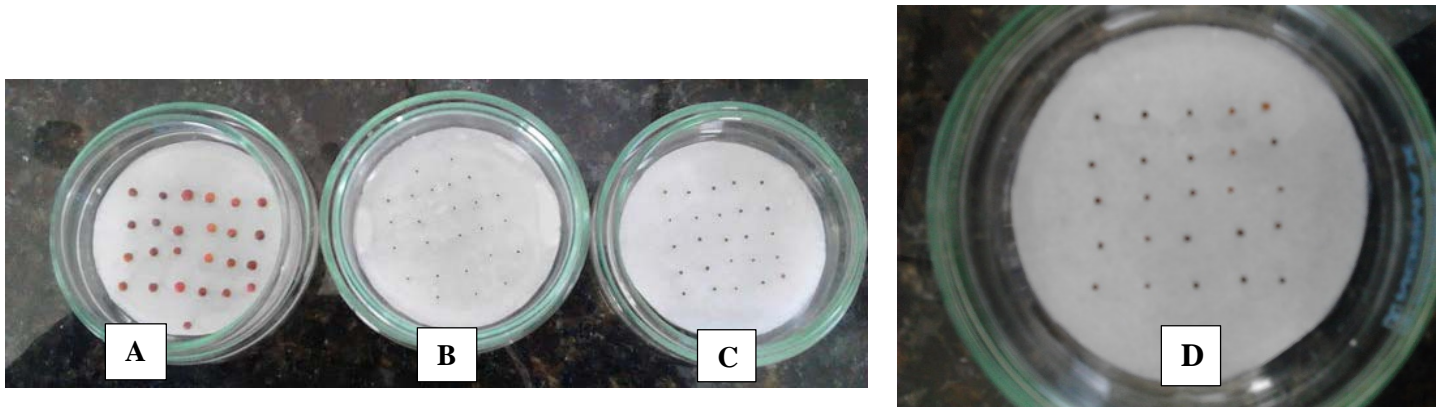
Se inicia con la compra y selección de semillas que son vendidas en mercados de agroinsumos en el municipio de Facatativá; las características y condiciones de las semillas usadas se describen en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Condiciones de los lotes de las semillas seleccionadas

<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>	<i>Días de cosecha</i>	<i>Marca distribuidora</i>	<i>Germinación</i>	<i>Pureza</i>
Repollo	<i>Brassica oleracea</i>	150 días	Importadora de Semillas S.A.S.	85%	99,9%
Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	80 días	Fercon S.A.	90%	99%
Hierbabuena	<i>Mentha spicata</i>	60 días	Fercon S.A.	83%	99%
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	60 días	Fercon S.A.	83%	99%

De cada una de las especies se hizo un montaje en cámara húmeda, preparada dentro de una caja Petri que contenía un disco de papel absorbente o papel filtro con una cantidad de 25 semillas, como se muestra en la Figura 25, las cuales estaban cubiertas parcialmente con un

volumen de agua destilada (se envolvió cada caja con papel kraft para evitar la exposición a la luz). Luego de 72 horas se procedió a realizar la lectura de semillas germinadas, en donde el conteo debía ser mayor o igual ( $\geq$ ) al 75%, es decir, como mínimo 19 semillas.



a. Repollo

b. Hierbabuena

c. Tomillo

d. Zanahoria

Figura 25. Cámaras de ensayo de viabilidad de semillas de repollo, hierbabuena, tomillo y zanahoria

### 7.3.2.2. Pruebas de germinación e inhibición

Las pruebas de germinación e inhibición en el presente trabajo se realizaron para comprobar si el lodo era apropiado en la utilización directa al suelo como abono orgánico.

Por lo tanto, el procedimiento que se llevó a cabo estuvo con base a las técnicas de Pérez, y otros (2008), donde inicialmente se realizó la siembra de las semillas que fueron viables en un semillero de 128 cubetas, permitiendo evaluar el vigor de las mismas. Dicho lo anterior, en la Tabla 13 se evidencia el diseño utilizado, el cual fue por aleatorización para establecer los tratamientos con tres replicas, realizando la identificación en un formato que se adhirió a la bandeja (ver Figura 26).

De otro lado, se menciona que el sustrato de control que se empleó fue turba esterilizada previamente de manera fraccionada por recipientes durante tres sesiones, día de por medio.



**Tabla 13.** Arreglos aleatorizados de tratamientos de pruebas de germinación e inhibición

<i>Aleatorización de tratamientos</i>			
3.3	2.1	4.2	1.3
2.3	1.2	3.1	3.2
2.2	1.1	4.1	4.3

*Nota:* El primer dígito corresponde al número de tratamiento y el segundo dígito al número de réplica



*Figura 26.* Identificación de aleatorización de tratamientos de las pruebas de germinación

Según lo descrito anteriormente, en la Tabla 14 y la Figura 27 se especifica los 4 tratamientos efectuados con la cantidad de lodo y sustrato de control correspondiente, en donde se preparó cada uno de ellos en beakers de 1L con la cantidad precisa de agua destilada para evitar que la turba quedara muy líquida, además en el proceso se tuvo el cuidado de tener una espátula por cada tratamiento para la mezcla previniendo contaminación cruzada.

**Tabla 14.** Relaciones porcentuales y cantidades volumétricas de turba y lodo en los tratamientos

<i>Dígito del tratamiento</i>	<i>Relación porcentual</i>		<i>Volumen de turba</i>	<i>Volumen de lodo</i>
	<i>Turba</i>	<i>Lodo</i>		
1	100,0%	0,0%	600 ml	0,0 ml

2	25,0%	75,0%	150 ml	450 ml
3	50,0%	50,0%	300 ml	300 ml
4	0,0%	100,0%	0,0 ml	600 ml



Figura 27. Preparación de tratamientos para las pruebas de germinación

Preparados los tratamientos según la relación volumétrica especificada, se prosiguió a llenar las cubetas sin apretar los sustratos y teniendo cuidado de no contaminar las cubetas contiguas. Luego se plantaron las semillas, 4 por cubeta, una en cada esquina, con una profundidad aproximada de 3mm y finalmente se cubrieron completamente con el sustrato.

Los tratamientos se mantuvieron húmedos constantemente con agua destilada y cubiertos superficialmente con una lámina de papel aluminio por 2 días, lo cual impidió la exposición a la luz hasta que hubo germinación de las semillas.

En el tercer, cuarto y quinto día después de haber preparado el semillero se procedió a realizar recuento de las semillas germinadas (Rangel, y otros, 2011), pero solo en el quinto día se extrajeron las plántulas y se hizo registro cuantitativo de germinación, presencia de hongos, longitud del tallo y raíz, muertes y anomalías de las mismas.



Adicionalmente, estas pruebas se complementaron con 3 tratamientos de compostaje que incluían lodo y equinaza con las relaciones porcentuales y volumétricas que se presentan en la Tabla 15. En el tratamiento 2 (sin adición), durante un periodo de 12 días se dejó intacto a temperatura ambiente, en cambio en el tratamiento 3 (con adición) con el mismo periodo mencionado, se adicionó 100 ml de lodo cada 4 días, ya que por acción metabólica microbiana el volumen de la mezcla se reducía (ver Figura 28).

**Tabla 15.** Relaciones porcentuales y cantidades volumétricas de los tratamientos de compostaje

Dígito del tratamiento	Relación porcentual			Volumen de turba	Volumen de lodo
	Turba	Lodo	Equinaza		
1	100,0%	0,0%	0,0%	600 ml	0,0 ml
2	0,0%	75,0%	25%	150 ml	450 ml
3	0,0%	75,0%	25%	300 ml	300 ml

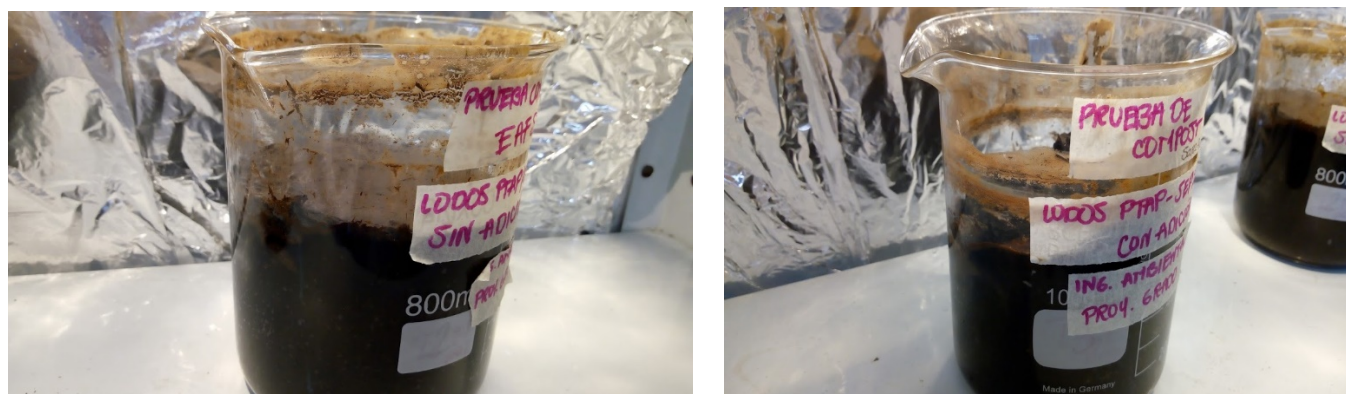


Figura 28. Mezclas para el tratamiento de germinación de compostaje

La distribución de los tratamientos se realizó de manera uniforme, como se ilustra en la Figura 29.



*Figura 29. Distribución de tratamientos para ensayos de compostaje*

### 7.3.3. LODO COMO MATERIA PRIMA EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS

#### 7.3.3.1. Fabricación de ladrillos como unidades experimentales

La metodología de elaboración experimental de ladrillos se desarrolló por etapas. La primera fue la recolección de lodos, seguido de retirar el material extraño, después el mezclado, el moldeo, secado y cocción u horneado.

El lodo que se implementó para realizar las unidades experimentales de los ladrillos se preparó previamente según las recomendaciones de Hassan, Fukushi, Turikuzzaman, & Moniruzzaman (2014), dejándolo secar por 72 horas en el lecho de secado al aire libre. Posteriormente, se realizó la recolección y se retiró todo el material extraño de los mismos, así como el tamizado de la arena y de la arcilla. De esta forma, se mezcló el lodo para que tuviera una consistencia uniforme y apropiada en el moldeo de los ladrillos, como se muestra en la Figura 30.



*Figura 30. Mezcla de lodo para preparación de los ladrillos*

Para la fabricación de los ladrillos se construyó un molde de madera con divisiones móviles (por la facilidad de manejo) de 10 cubetas con una dimensión de 8,0 cm x 4,0 x 3,0 por cada una, que contaba con una base, la cual soportaba la mezcla (ver Figura 31).



Figura 31. Molde para la fabricación de las unidades de ladrillos

Por consiguiente, en la primera prueba realizada se manejó una mezcla entre arena y lodo que se acondicionaron en el laboratorio con dos tipos de tratamiento; el primero, fue 100% lodo y el segundo, una relación de 50% lodo y 50% arena con 4 repeticiones. Cada una de las composiciones alistadas se colocaron dentro del marco de madera y se compactaron para disminuir los espacios de aire y lograr la resistencia deseada (ver Figura 32). En cuanto a la segunda prueba, se realizó una mezcla de arcilla y lodo con unas proporciones de experimentación, junto con sus repeticiones que se ilustran en la Figura 33.



Figura 32. Moldeo de ladrillos de arena y lodo



60% Arcilla/ 40% Lodo	100% Lodo
90% Arcilla/ 10% Lodo	95% Arcilla/ 5% Lodo
95% Arcilla/ 5% Lodo	100% Arcilla
	90% Arcilla/ 10% Lodo



Figura 33. Moldeo de ladrillos de arcilla y lodo

El secado de las muestras se realizó por fases de manera progresiva. En la primera se puso el marco a temperatura ambiente por 6 días, transcurrido este periodo se pasó a ser secado en horno a una temperatura de 105°C por 84 horas.

Luego, se trascendió a la etapa de cocción y calcinado, en donde se introdujo las unidades experimentales en una mufla a 500°C por 6 horas, después a 700°C por otras 6 horas y finalmente a 1050°C por 4 horas (Torres, Hernández, & Paredes (2012); Muñoz (2016)).

#### 7.3.3.2. Análisis de las propiedades de los ladrillos

A las unidades de ladrillos obtenidas en el proceso anterior se le evaluaron unas propiedades físicas, las cuales están sujetas a la Norma Técnica Colombiana NTC – ISO 4205, que tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir los ladrillos y bloques cerámicos como unidades de mampostería y los parámetros que se deben determinar (ICONTEC, Ministerio de Desarrollo Económico, 2000). Dado lo anterior, los ladrillos de experimentación se determinan como macizos (M), debido a que no tienen perforaciones.

De acuerdo a esta guía normativa se analizaron las características de absorción de agua y tasa inicial de absorción. Los procedimientos que se hicieron se describen en las Tabla 16 (absorción de agua) y Tabla 17 (tasa inicial de absorción).

**Tabla 16.** Metodología implementada en el análisis de absorción de agua de los ladrillos de lodo

ABSORCIÓN DE AGUA	
<i>Peso del ladrillo seco</i>	
<b>1</b>	En primer lugar, se sacaron los ladrillos de la mufla dejándolos enfriar por 1 hora.
<b>2</b>	Posteriormente se pesaron las unidades y este dato se tomó como el peso seco del ladrillo.
<i>Peso del ladrillo saturado de agua</i>	
<b>3</b>	Se sumergieron los ladrillos en agua hasta un tercio de su altura, donde se dejaron por 2 horas.
<b>4</b>	Luego, se sube el nivel hasta la mitad del ladrillo y se esperaron otras 2 horas.
<b>5</b>	Seguidamente, se agregó agua para aumentar el nivel 0,5 cm. Las unidades se dejaron inmersas por 20 horas más, completando las 24 horas.
<b>6</b>	Trascurrido este tiempo se retiraron del agua y se secó el exceso de agua con un paño, procediendo a pesar.
<b>7</b>	Finalmente, la absorción de agua se calculó por medio de la siguiente expresión matemática:

$$CA_a = \frac{M_{sat} - M_{seco}}{M_{seco}} * 100$$

Donde,

CA<sub>a</sub>: Capacidad de absorción de agua [%]

M<sub>sat</sub>: Masa del ladrillo saturado de agua

M<sub>seco</sub>: Masa del ladrillo seco

*Nota:* La metodología implementada para conocer la capacidad de absorción de agua de los ladrillos fue el método de saturación en frío y se adaptó de García A. (1975).

**Tabla 17.** Metodología implementada en el análisis de la tasa inicial de absorción de los ladrillos de lodo

TASA INICIAL DE ABSORCIÓN	
<b>1</b>	Se determinó la masa del ladrillo mediante una báscula digital.
<b>2</b>	En un recipiente de vidrio se dispuso unas barras de soporte para las

		unidades de experimentación y sin afectar el nivel del agua.
<b>3</b>	Posteriormente, se agregó al recipiente una cantidad de agua hasta alcanzar una altura de 0,5 cm por encima de las barras que se pusieron.	<b>4</b> Luego, se colocaron los ladrillos sobre las barras de soporte, e inmediatamente se empezó a contar 60 segundos con cronómetro.
<b>5</b>	Finalizado los 60 segundos se retiraron los ladrillos prontamente, secándoles el exceso de agua con un paño húmedo. Sin haber sobrepasado 2 minutos se pesó la unidad en una balanza digital.	<b>6</b> La tasa inicial de absorción se estimó a través de la siguiente expresión matemática: $TIA = \frac{M_f - M_i}{A_w}$ Donde, TIA: Tasa Inicial de Absorción [g/cm <sup>2</sup> /min] Mi: Masa inicial por cada minuto [g/min] Mf: Masa final por cada minuto [g/min] A: Área neta en contacto con el agua [cm <sup>2</sup> ]

*Nota: La metodología implementada para conocer la tasa inicial de absorción de los ladrillos fue el de Carvajalino & Hernández (2014).*

#### 7.4. APARTADO 4: ANÁLISIS FINANCIERO Y AMBIENTAL

En la Tabla 18 se resume la metodología para el análisis financiero y ambiental, ya que en el numeral 9 se detalla con mayor precisión.

**Tabla 18.** Métodos implementados en el análisis financiero y ambiental

Rentabilidad	Rendimiento que en un determinado momento generan las magnitudes utilizadas en el mismo, haciendo una comparación entre el beneficio generado y los recursos invertidos	Viabilidad Técnica	a. Personal b. Espacio físico c. Tecnología
		Viabilidad Financiera	a. Valor Presente Neto b. TIR c. Análisis costo – beneficio

<i>Variables</i>	<i>Procedimiento</i>
Viabilidad Ambiental	Indicadores de impacto ambiental (componente de aire, suelo, agua, biótico, paisaje y social)
Cantidad de personas disponibles	Se evaluará la cantidad de personal con los conocimientos y tiempo suficiente para la ejecución del proyecto dentro de la empresa, tanto de nivel técnico operativo y profesional.
Área disponible	En cuanto a los estudios de fertilidad se calculará el área disponible en el vivero de la empresa para realizar la experimentación.
Equipos	Se establecerá la capacidad de equipos y sustancias químicas, tanto de laboratorio para realizar el aprovechamiento adecuado de los lodos.
Costos del Proyecto	Se realizará mediante modelos matemáticos ya pre – establecidos, con los valores de todos los recursos implementados (estudio de pre – factibilidad).
Intervisibilidad; Paisajes intervenidos; Volumen de tierra removida en el área intervenida; cantidad y calidad de agua en épocas de estiaje y de invierno; cantidad del agua tratada; generación de empleos	Se realizará con la implementación de metodologías de Evaluación de Impacto ambiental cualitativos y cuantitativos, como matrices de impacto, en donde sus efectos se cuantificaran monetariamente mediante métodos de valoración de costo ambiental.



## 8. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos corresponden específicamente a las técnicas metodológicas implementadas, dando cumplimiento a los objetivos del proyecto y consecuentemente generando respuestas e indicadores imprescindibles para el análisis y evaluación de cada una de las alternativas planteadas hacia el uso adecuado de los lodos producidos en la PTAP de la E.A.F. S.A.S. E.S.P.

### 8.1. APARTADO I: CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y BIOLÓGICA DE LOS LODOS

#### 8.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LODOS EN LABORATORIO EXTERNO

La caracterización entregada por el laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), es la base inicial para determinar la capacidad de uso de los lodos provenientes de la planta potabilizadora de la E.A.F. S.A.S. E.S.P. Seguidamente, se realiza un compendio de los resultados entregados por la entidad desde la Tabla 19 a la Tabla 21, encontrándose los originales en el [Anexo 9](#).

Los lodos tienen características similares a las de un suelo (Nuñez & Peña, 2011), de esta forma, los resultados obtenidos indican que a nivel general no hay riesgo químico, físico, biológico y microbiológico para ser utilizado en las diferentes alternativas planteadas. En la Tabla 19 se aprecia que en el lodo se encuentra arena, limo y arcilla, lo que conlleva a decir, que si fuese un suelo, correspondería a una clase textural *Franco – Arcillosa – Arenosa* (F Ar A), que son muy adecuados para cultivar por tener buen drenaje y con las concentraciones óptimas de nutrientes (CORPOICA; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2007).

La presencia de arena, limo y arcilla se debe al arrastre de las partículas del suelo que hace el agua de fuente superficial en la etapa de aducción (Ministerio del Medio Ambiente, 2002), con la presencia de óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) que conforman el gran porcentaje de compuestos inorgánicos en el lodo (Cheng, Fu, Chen, & Yu, 2012).

**Tabla 19.** Resultados reportados por el IGAC de granulometría

Granulometría			
Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase Textural

60,0	14,30	25,70	F Ar A
------	-------	-------	--------

En las propiedades químicas que se resumen en la Tabla 20 se afirma que el pH es medianamente ácido, lo que le permite a los lodos otorgar al suelo la mayoría de nutrientes que posee, especialmente nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y boro (Jaramillo, 2002), además de generar buenas propiedades físicas a estos residuos.

De acuerdo al informe de interpretación de análisis químicos de suelos del IGAC (2017), se tiene un alta concentración de fósforo (>40 mg/Kg), junto con la CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) (>20 cmol(+)/Kg), alto porcentaje de Carbono Total (>8,1%) y Nitrógeno Total (>0,50%); por otro lado, los lodos presentan bajo porcentaje de Saturación de Bases (<35%). En cuanto al magnesio que está en dependencia con las relaciones químicas, se puede indicar que podría ser deficiente por un lado, porque la relación – Mg/K – es menor a 1, sin embargo en la relación – Ca/Mg – que cumple con ser menor a 10, lo hace un elemento presente en los lodos.

El bajo porcentaje de Saturación de Bases no permite que las cargas negativas del lodo se neutralicen, ocasionando que el pH tienda a ser más ácido que neutro o básico en los lodos (Escobar, 2009)

**Tabla 20.** Resultados químicos reportados por el IGAC

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Resultado</i>
pH	[H <sup>+</sup> ]	5,48 – 6,4
Azufre Total	%	0,25
Carbono Total	%	8,33
Nitrógeno Total	%	0,73
Fósforo Disponible	mg/Kg	54,05
Saturación de Bases (S.B)	%	29,93
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	cmol(+)/Kg	25,228

Acidez intercambiable (A.I) <sup>7</sup>	cmol(+)/Kg	17,678
Ca	cmol(+)/Kg	5,620
Mg	cmol(+)/Kg	0,680
K	cmol(+)/Kg	0,710
Na	cmol(+)/Kg	0,540
Bases Totales	cmol(+)/Kg	7,550
Mn	mg/Kg	27,82
Fe	mg/Kg	282,97
Cu	mg/Kg	0,39
B	mg/Kg	0,19
<i>Relaciones químicas</i>		
Ca/Mg	-	8,265
Mg/K	-	0,958
Ca/K	-	7,915
(Ca+Mg)/K	-	8,873

En la Tabla 21 se tabulan los resultados de los estudios biológicos y microbiológicos de los lodos, donde se aprecia que no hay problema para ser implementados como acondicionador de suelos o en otros procesos, junto con otras materias primas. La respiración indica que los lodos tienen capacidad fertilizante y como abono orgánico (Jaramillo, 2002).

**Tabla 21.** Resultados biológicos y microbiológicos reportados por el IGAC

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Resultado</i>
<i>Salmonella spp</i>	NMP/g	No Detectable
Coliformes Totales	NMP/g	>594,3
Coliformes fecales	NMP/g	113,4
<i>Escherihia Coli</i>	NMP/g	113,4

<sup>7</sup> Debido a que este resultado no fue presentado por el IGAC, este valor se calculó a partir del despeje de la fórmula de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) que es  $CIC = S.B + A.I$ . Por consiguiente,  $A.I = CIC - S.B$  (Escobar, 2009).

Respiración	mgCO <sub>2</sub> /g/48h	3,355
Nematodos en sustrato patógenos	Número/Kg muestra	No Detectable
Nematodos en sustrato vida libre	Número/Kg muestra	No Detectable
Nematodos en líquido patógenos	Número/L muestra	No Detectable
Nematodos en líquido vida libre	Número/L muestra	No Detectable

## 8.1.2. PRUEBAS COMPLEMENTARIAS EXPERIMENTALES REALIZADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN

### 8.1.2.1. Análisis físico – químicos

Los resultados de las pruebas que se realizaron como complemento a la caracterización físico – química de los lodos se reflejan en la Tabla 22, evidenciando que el pH en las 8 muestras succionadas tiene un promedio de 6,754, con un valor mínimo de 6,328 y un máximo de 7,11, lo cual demuestra que no tuvo gran variación entre los datos obtenidos, según el coeficiente de variación (3,070%) y la desviación estándar (0,20735); en efecto, los resultados de pH guardan una coherencia con lo reportado por el IGAC. En la Figura 34 se ilustra el máximo y el mínimo correspondiente a esta característica.



(a)



(b)

Figura 34.<sup>a</sup>pH mínimo con pHmetro Lab 850 y <sup>b</sup>pH máximo con pHmetro portátil WTW 330

Tabla 22. Resultados de las pruebas físico – químicas complementarias

N° Muestra	Réplica	pH	Promedio pH	Temperatura (°T) - °C	Promedio T°	Sólidos Sedimentables (SS) - ml/L	Sólidos		Conductividad Eléctrica (CE)- µs/cm	Promedio CE	
							Promedio SS	Disueltos (SD) - mg/L			
1	1	6,328	6,589	18,8	18,7	390	390	125	135	121	128,5
	2	6,85		18,6		-		145		136	
2	1	6,75	6,84	25,4	23,5	650	650	315	316,5	323	324
	2	6,93		21,6		-		318		325	
3	1	7,05	6,955	13,6	15,05	610	610	263	289	244	272
	2	6,86		16,5		-		315		300	
4	1	6,73	6,745	17	17,75	732	732	508	496	490	473
	2	6,76		18,5		-		484		456	
5	1	7,09	7,1	20,4	18,1	950	950	908	876,5	896	862,5
	2	7,11		15,8		-		845		829	
6	1	7,06	6,74	21,3	21,25	987	987	935	912,5	930	886,5
	2	6,42		21,2		-		890		843	
7	1	6,66	6,595	15,1	16,65	780	780	576	587	546	563
	2	6,53		18,2		-		598		580	
8	1	6,55	6,47	19,9	19,3	629	629	247	251,5	242	245
	2	6,39		18,7		-		256		248	
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0,20735</b>		<b>2,63571</b>		<b>193,459</b>		<b>290,407</b>		<b>283,8385</b>
<b>Coefficiente de Variación</b>			<b>3,070%</b>		<b>14,029%</b>		<b>27,019%</b>		<b>60,126%</b>		<b>60,480%</b>

De otro lado, la temperatura, los SD, los SS y la CE presentan una mayor variación entre los resultados obtenidos, según la desviación estándar y el coeficiente de variación en estos parámetros. Lo anterior se debe a que los días en que se realizó el muestreo fueron variables, es decir, en los momentos más calurosos se presentó las T°, SD, SS y CE más altas y por el contrario en los días más fríos estas variables tuvieron los valores mínimos. En la Figura 35 se muestra la prueba de los SS, en los que se registró los valores máximos y mínimos.

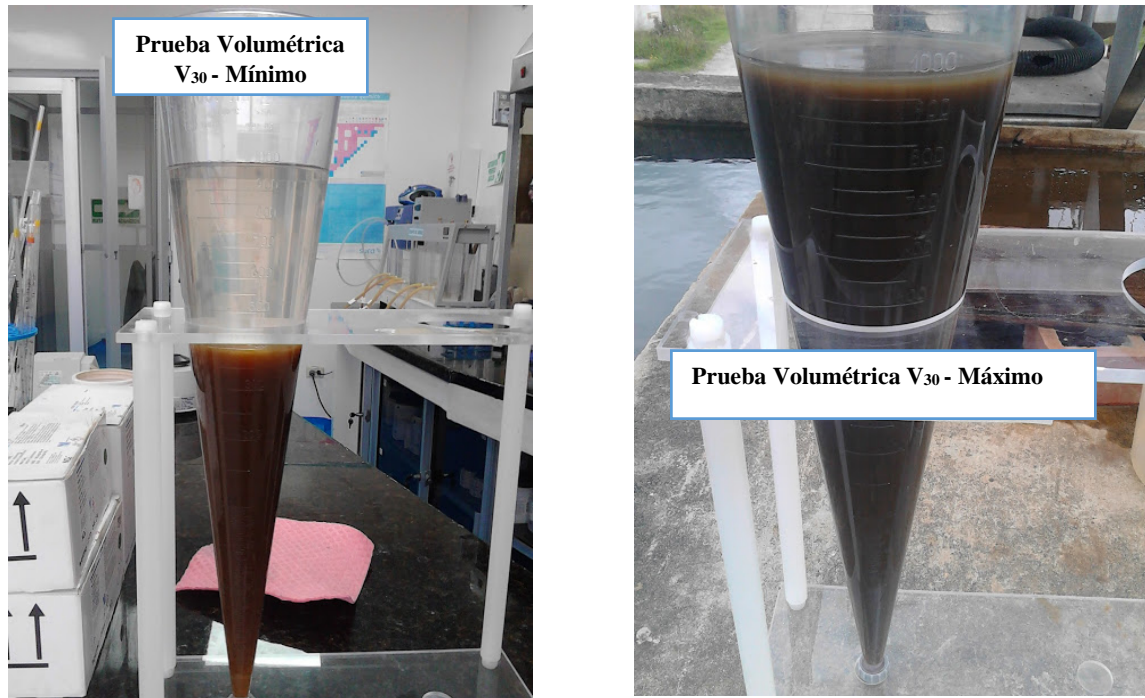


Figura 35. Prueba del Cono de Imhoff para SS. Valores mínimos y máximos obtenidos

En estos análisis también se tuvo en cuenta el porcentaje de humedad del lodo [%H], porcentaje de sólidos en el lodo [%Ps], densidad relativa del lodo [ $\delta_{Lodo}$ ] y velocidad de sedimentación de las partículas del lodo [ $v_{sed}$ ], que se incluyen en la Tabla 23, explicando que los lodos de alumbre son uno de los residuos con mayor contenido de agua, lo que permite verificar lo afirmado por Gallo & Uribe (2003). Los cálculos se encuentran en el [Anexo 10](#).

**Tabla 23.** Resultados de %H, %Ps,  $\delta_{Lodo}$  y  $v_{sed}$

%Humedad del lodo [%H]	%Sólidos en el lodo [%Ps]	Densidad relativa del lodo [ $\delta_{Lodo}$ ]	Velocidad de sedimentación [ $v_{sed}$ ]
98,943%	1,057%	1,001765 g/cm <sup>3</sup>	6,04033*10 <sup>-5</sup> m/s



### 8.1.2.2. Cuantificación de lodo

La cuantificación de los lodos se realizó mediante las fórmulas expresadas en el numeral 5.2.2.2., donde la dosificación utilizada fue de 30 mg/L, junto con una turbiedad mínima de 3 UNT y una máxima de 14 UNT; estos fueron los valores reportados en el periodo de muestreo, coincidiendo con lo que indica Galindo (2016). En la Tabla 24 se informa los kg/día y kg/mes en base seca de los lodos.

**Tabla 24.** Masa de lodo cuantificada por día y por mes para una turbiedad máxima y una mínima

	$S = 86,4Q(0,44 Al + SS + A)$		$S = (UNT + 0,3Al) * Q * 10^{-3}$	
	kg/día	kg/mes	kg/día	kg/mes
3 UNT	299,7	8991	222,0	6660
14 UNT	503,2	15096	425,5	12765

De lo obtenido, se identifica que entre los dos métodos de cálculo hay una diferencia de 77,7 kg de lodo en base seca; sin embargo, son valores máxicos que se equiparan con los estudios ya realizados por Roza & Suta (2011). Posteriormente, estos resultados son la base para saber la cantidad disponible de aprovechamiento en la evaluación de las alternativas planteadas.

### 8.1.2.3. Análisis microbiológicos

#### A. Resultados diluciones

Los resultados de las UFC/ml obtenidos a partir del conteo que se realizó en el agar Rosa de Bengala, EMB y nutritivo son tabulados en la Tabla 25, haciendo la correspondencia por cada dilución implementada. Para conocer las UFC/ml se calculó por la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{UFC}}{\text{ml}} = \frac{\text{Número de colonias en la placa} * \text{Factor decimal de dilución}}{\text{Volumen inicial sembrado}}$$

**Tabla 25.** Resultado de diluciones microbiológicas del lodo

Réplica	Volumen inicial sembrado $\approx 0,1\text{ml}$					
	Agar Rosa de Bengala		Agar EMB		Agar Nutritivo	
	$D.10^{-1}$	$D.10^{-2}$	$D.10^{-4}$	$D.10^{-5}$	$D.10^{-5}$	$D.10^{-6}$

1	22*10 <sup>3</sup> UFC/ml	26*10 <sup>4</sup> UFC/ml	≤1 UFC/ml	≤1 UFC/ml	11*10 <sup>6</sup> UFC/ml	5*10 <sup>7</sup> UFC/ml
2	12*10 <sup>3</sup> UFC/ml	18*10 <sup>4</sup> UFC/ml	≤1 UFC/ml	≤1 UFC/ml	13*10 <sup>6</sup> UFC/ml	7*10 <sup>7</sup> UFC/ml

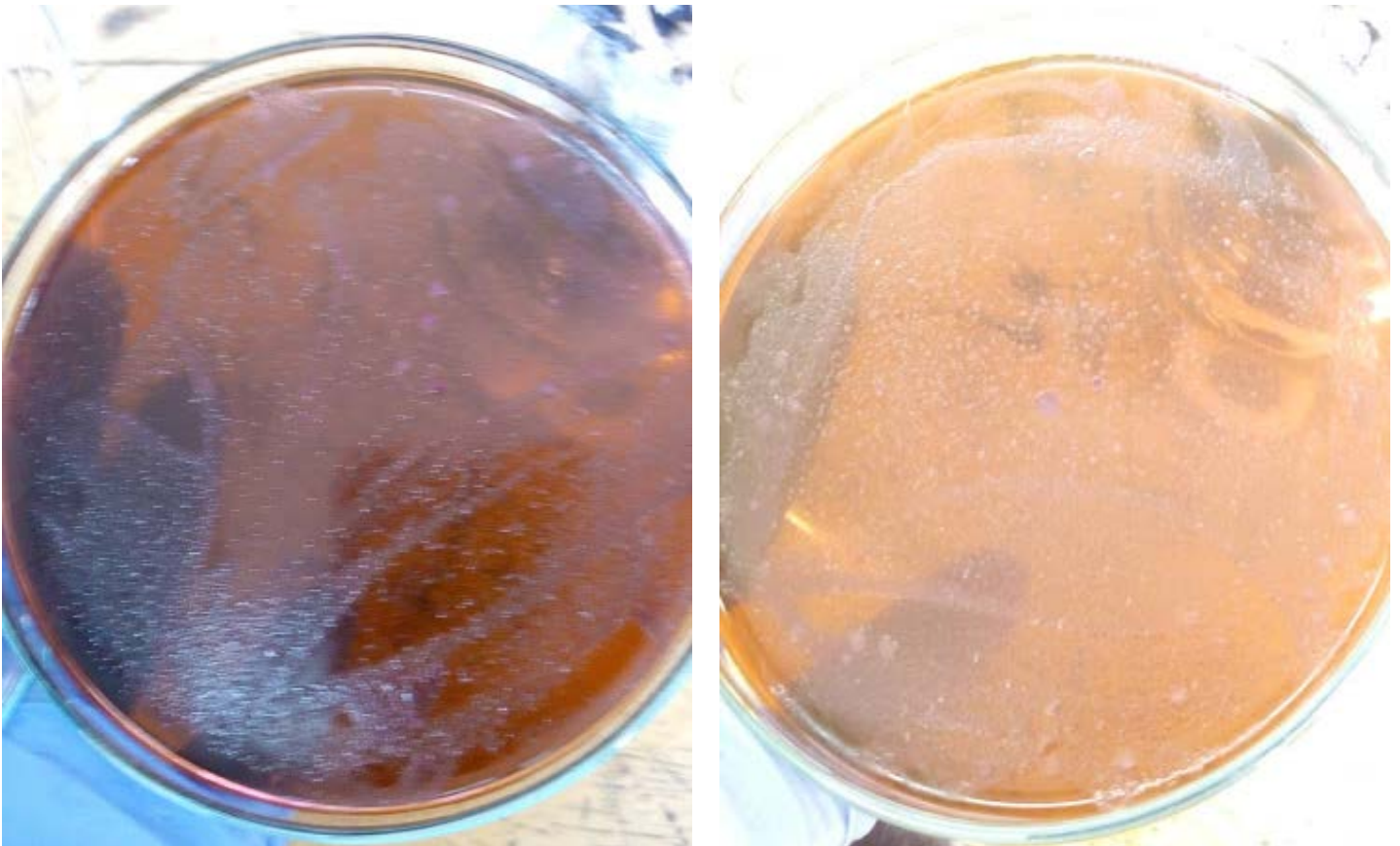
*Nota:* En los resultados de EMB se reportó como ≤1 UFC/ml, de acuerdo a lo recomendado por Prado, Rodríguez, Figueroa, & Shirai (2013) por lo que no hubo crecimiento evidente.

Los resultados de las diluciones son validados con los reportes de análisis del IGAC, luego que la carga microbiana no fue tan elevada. En razón a lo anterior, donde no se obtuvo crecimiento bacteriano en el agar EMB como se ve en la Figura 36, se optó por volver a realizar siembra directa en este agar, con el objetivo de verificar si había algún crecimiento de coliformes, especialmente de *Escherichia coli*.



**Figura 36.** Crecimiento bacteriano nulo de coliformes en agar EMB en la dilución 10<sup>-4</sup> y 10<sup>-5</sup>

En los resultados de la siembra directa en el agar EMB tampoco se obtuvo crecimiento de *E.coli*, aunque sí, de otro tipo de colonia rosada (ver Figura 37). Entonces, lo que posiblemente influyó a que se reportará este coliforme fecal en los informes del laboratorio externo, es que la técnica utilizada por el IGAC es del Número Más Probable (NMP), lo cual, es un método muy sensible a los coliformes por desarrollarse en tres etapas, que son la presuntiva (se pone la muestra en una serie de tubos con agar lauril triptosa, que estimula fuertemente el metabolismo microbiano para obtener selectivamente coliformes), confirmativa (se corrobora la presencia de los coliformes encontrados en la prueba presuntiva con el caldo lactosado verde brillante para suprimir el crecimiento de los grupos que no son coliformes) y complementaria (se inocula en placa por estría las bacterias catalogadas como coliformes en agar EMB) (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2001).



*Figura 37. Crecimiento bacteriano de colonias rosadas en agar EMB por siembra directa*

El conteo en placa de las colonias en agar EMB fue  $\geq 300$  UFC, donde la identificación macroscópica correspondió al tamaño de la colonia, color, forma, elevación, superficie, consistencia, bordes, luz transmitida y luz reflejada (Rosas, 2015). Los resultados se presentan en la Tabla 26.

**Tabla 26.** *Identificación macroscópica de la colonia presente en el agar EMB*

<i>Característica</i>	<i>Resultado</i>
Tamaño de la colonia	1 – 5 mm
Color	Rosada
Forma	Irregular
Elevación	Convexa
Superficie	Lisa
Consistencia	Cremosa


Bordes	Entero
Luz transmitida	Opaca
Luz reflejada	Opaca

En relación a la caracterización macroscópica se puede decir que esta colonia identificada en el agar EMB puede ser una bacteria Enterobacteriaceae del género *Shigella spp* (Terragno, Caffer, & Binsztein, 2007), lo cual no es un resultado extraño ya que en las concentraciones que se encuentra es normal su presencia en los lodos (Pascual & Calderón, 1999).

#### *B. Bacterias Gram – Positivas por el Sistema BBL Crystal*

De las colonias que crecieron en el agar nutritivo por el método de diluciones seriadas, se realizó el aislamiento de tres colonias por siembra en estría donde se identificaron macroscópica (Tabla 27) y microscópicamente (Tabla 28).

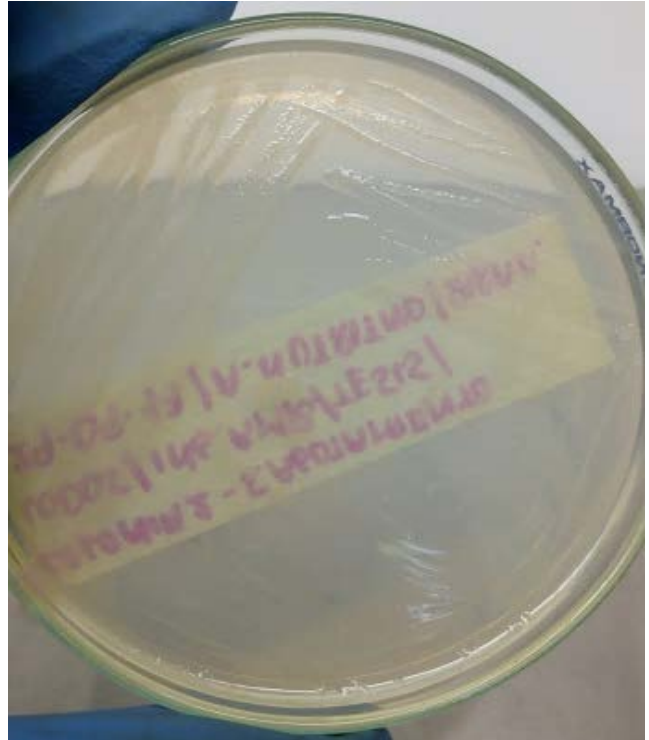
**Tabla 27.** Identificación macroscópica de las colonias aisladas en agar nutritivo

<i>Característica</i>	<i>Resultado</i>	<i>Fotografía</i>
<i>Colonia 1</i>		
<i>Tamaño de la colonia</i>	6 mm	
<i>Color</i>	Blanca	
<i>Forma</i>	Irregular	
<i>Elevación</i>	Plana	
<i>Superficie</i>	Rugosa	
<i>Consistencia</i>	Membranosa	
<i>Bordes</i>	Lobulados	
<i>Luz transmitida</i>	Opaca	

*Luz reflejada* Opaca

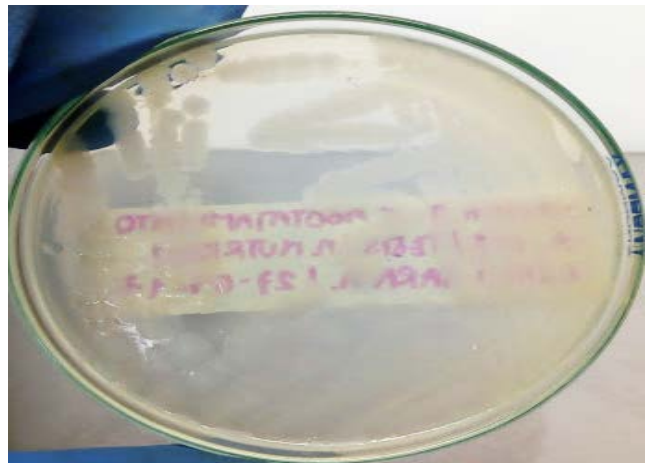
*Colonia 2*

<i>Tamaño de la colonia</i>	1 mm
<i>Color</i>	Amarillo con blanco
<i>Forma</i>	Redonda
<i>Elevación</i>	Convexa
<i>Superficie</i>	Lisa
<i>Consistencia</i>	Cremosa
<i>Bordes</i>	Entero
<i>Luz transmitida</i>	Traslúcida <sup>8</sup>
<i>Luz reflejada</i>	Brillante



*Colonia 3*

<i>Tamaño de la colonia</i>	4 mm
<i>Color</i>	Blanca
<i>Forma</i>	Iregular
<i>Elevación</i>	Plana
<i>Superficie</i>	Rugosa
<i>Consistencia</i>	Membranosa

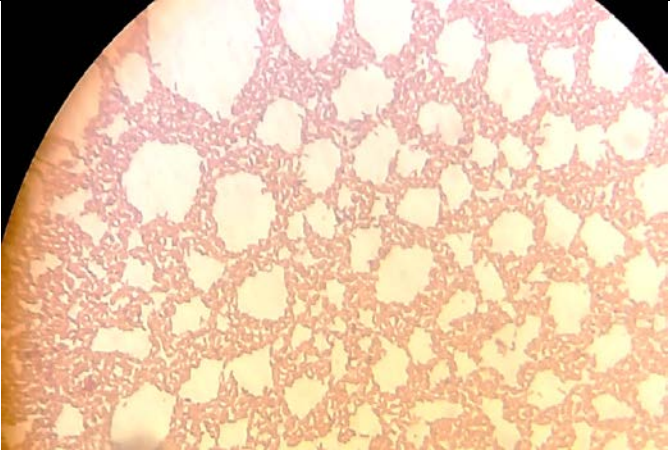
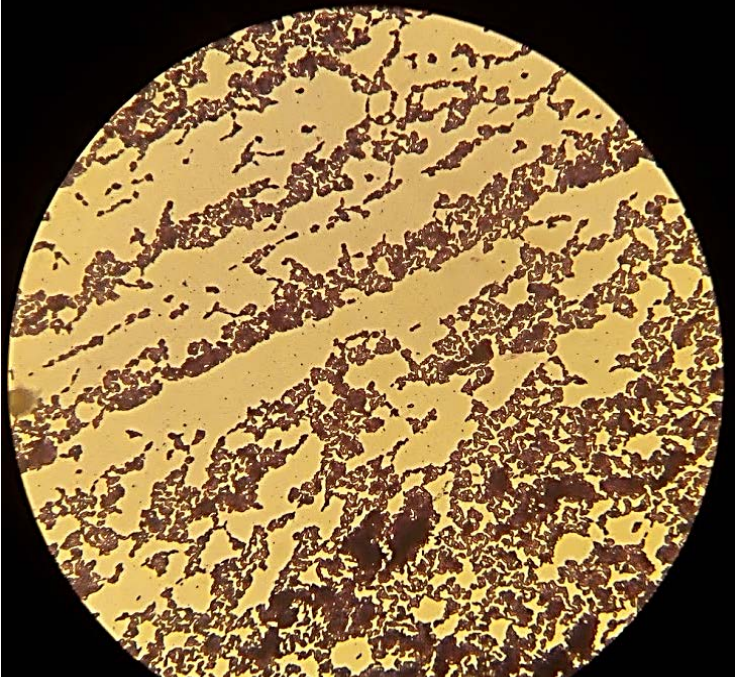


<sup>8</sup> Las colonias dejan pasar la luz, pero no dejan de ser por completo la visibilidad de los objetos observados a través de estas (Rosas, 2015).

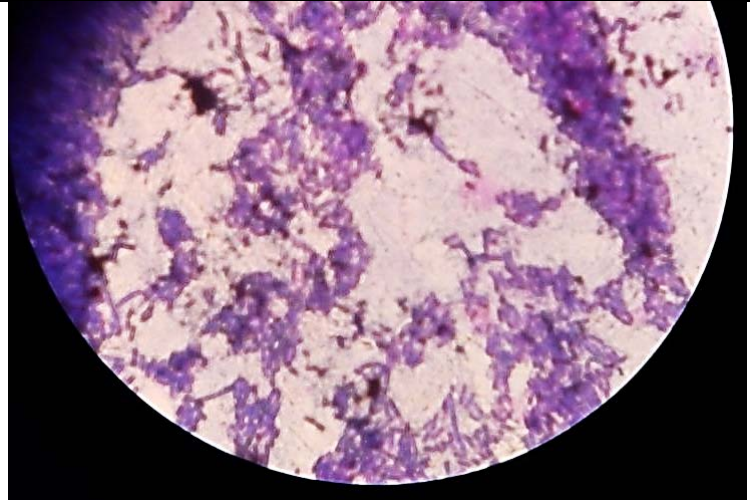


<i>Bordes</i>	Ondulado
<i>Luz transmitida</i>	Opaca
<i>Luz reflejada</i>	Opaca

**Tabla 28.** Identificación microscópica de las colonias aisladas en agar nutritivo para inocularla en el Sistema BBL Crystal

<i>Colonia</i>	<i>Reporte microscópico</i>	<i>Fotografía</i>
1	Microbacilos Gram - Negativos	
2	Microbacilos Gram - Positivos	

3 Microbacilos Gram -  
Positivos



Obtenida la identificación de Gram – Positivos y Gram – Negativos, las colonias 2 y 3 fueron inoculadas en el Sistema BBL Crystal, mostrando el registro fotográfico de los paneles en el [Anexo 7](#). Los códigos que se obtuvieron fueron los siguientes:

- ✓ Colonia 2: 3764000777
- ✓ Colonia 3: 3765461773

Sin embargo, el software de identificación del *Sistema BBL Crystal* arrojó error para la colonia 3 (ver Figura 38), por lo que solo se registró la colonia 2 con un porcentaje de confianza del 88,88% como *Bacillus brevis* (ver Figura 39). El software también estableció la *Corynebacterium aquaticum* con un porcentaje de confianza de 11,12% y *Bacillus subtilis* 0,01%, sin embargo estas se descartan porque el mayor porcentaje de confianza es el del *Bacillus brevis*, en relación con los otros organismos reportados (Cote, 2006).

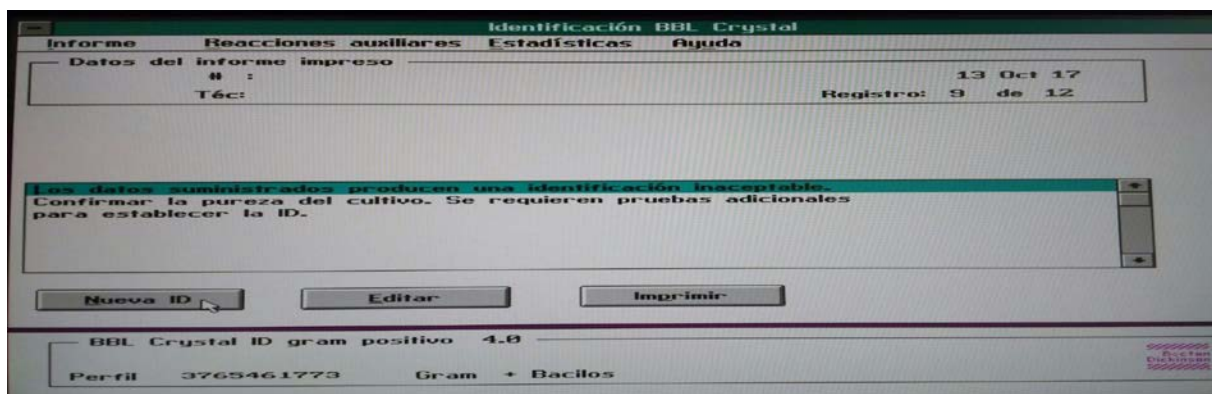


Figura 38. Error en la identificación de la colonia 3



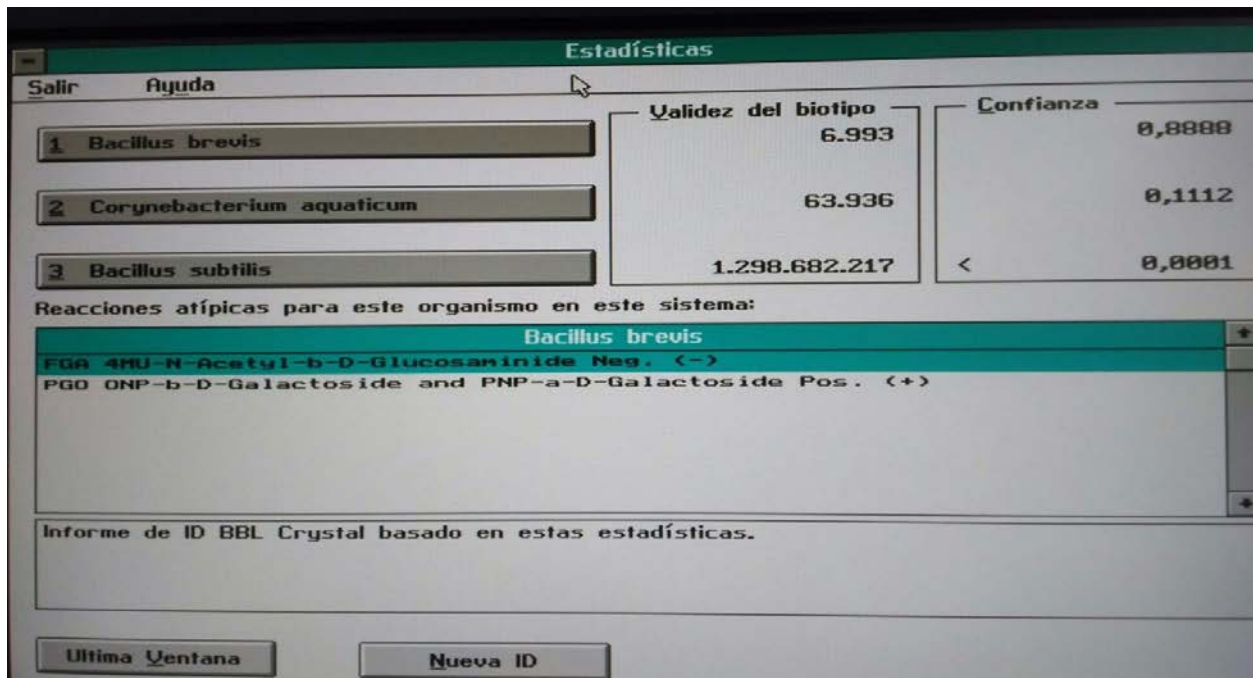




Figura 39. Identificación de la colonia 3 como *Bacillus brevis*

Con estos resultados se corrobora que los *Bacillus spp*, que incluye el *Bacillus brevis* son los que predominan en los lodos de la E.A.F. S.A.S. E.S.P. lo que es buen indicador, ya que estos grupos bacterianos ayudan a controlar la proliferación de hongos patógenos (Nacheva & Soriano, 2009) y a retener los altos contenidos de aluminio y hierro que contienen los lodos de alumbre.

### C. Identificación de hongos por micro – cultivos

Se obtuvieron 2 tipos diferentes de hongos por la metodología de micro – cultivos, que se muestran en la Tabla 29, donde solo se reporta macroscópicamente.

**Tabla 29.** Resultados de los micro – cultivos, en la identificación macroscópica

Fotografía	Observaciones
	<p>Hongo verde oscuro, tanto en su superficie, como el revés con poco desarrollo miceliar y de rápido crecimiento.</p>
	<p>Es un hongo blanco, de textura algodonosa, con micelio abundante y según la descripción de Arias &amp; Piñeros (2008) puede ser de manera tentativa un <i>Fusarium spp.</i>, que es parte normal de la flora fúngica de lodos de alúmina y suelos.</p>

## 8.2. APARATADO II: PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS DE POTABILIZACIÓN

### 8.2.1. RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO

#### 8.2.1.1. Acidificación de lodos

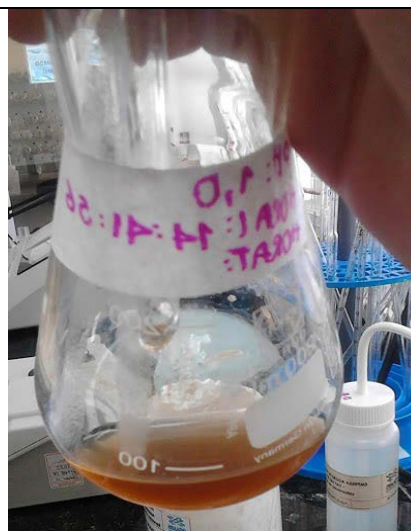
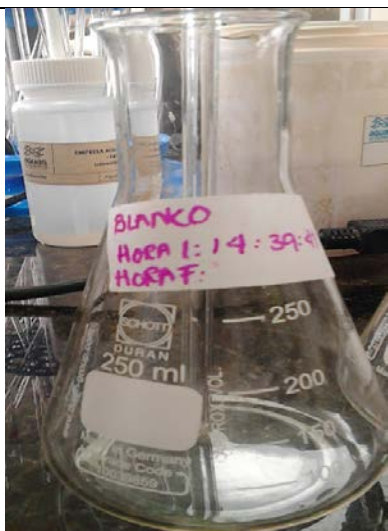
Determinar la recuperación de sulfato de aluminio mediante los ensayos de jarras por vía ácida con la adición de diferentes volúmenes de ácido sulfúrico al 95 – 97% (ver Tabla 30) para obtener pH de 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 de una muestra de lodo, permitió establecer los porcentajes de alúmina captada.

*Tabla 30. Volúmenes adicionados de ácido sulfúrico al 95 – 97% para el proceso de acidificación de lodos*

pH	Volumen de ácido sulfúrico adicionado [ml]
1,0	24,6
1,5	21,2
2,0	17,0
2,5	15,8
3,0	13,2

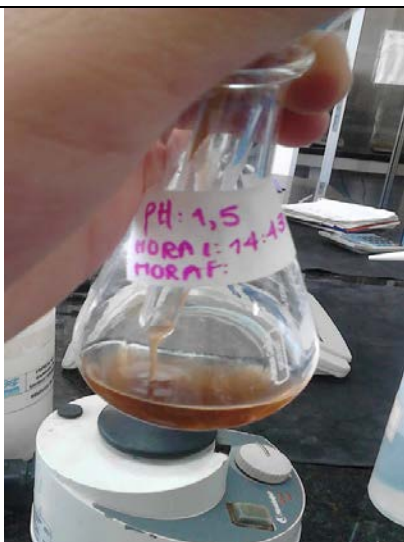
En la Tabla 32 se registra las concentraciones de aluminio soluble resultante de las mediciones de los sobrenadantes como se refleja en la serie de figuras de la Tabla 31, a 30 minutos de mezcla en la muestra inicial (sin acidificar) y a los diferentes pH de acidificación con tres réplicas.

*Tabla 31. Registro fotográfico de los sobrenadantes para la medición de aluminio soluble*

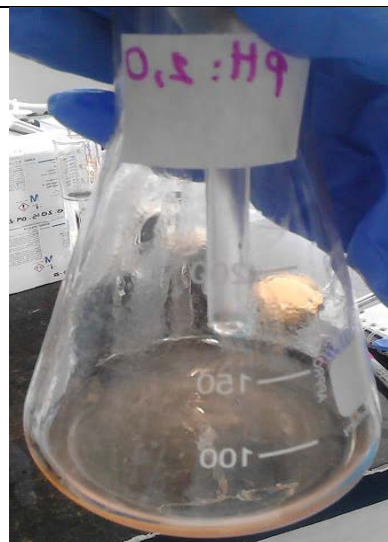


pH: 1,0

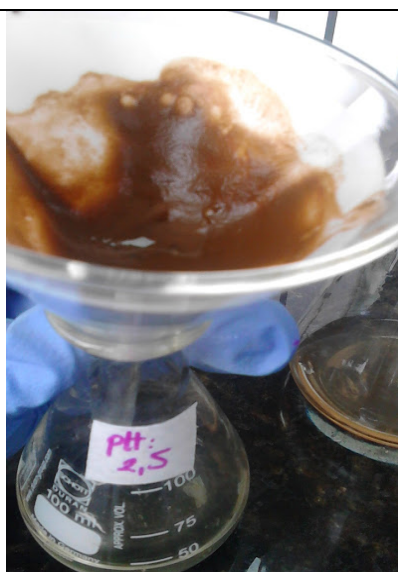
## Muestra inicial (sin acidificar)



pH:1,5



pH: 2,0



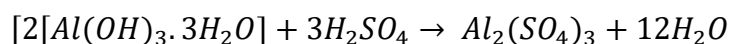
pH: 2,5



pH: 3,0

En la tabulación de la Tabla 32 el pH óptimo para la extracción fue de 1,0, ya que se obtuvo el mejor rendimiento de recuperación con un porcentaje de 56,793% (1230 mg/L), en relación con la concentración teórica (2165,7554 mg/L). Por otra parte, el pH con menor rendimiento fue el de 1,5 y 2,5, donde no se muestra una gran variabilidad entre estos dos, debido que para 1,5 fue de 45,011% (840 mg/L) y para 2,5 fue de 45,065% (626,667 mg/L).

Cabe aclarar que la concentración teórica se calculó no solo para pH de 1,0, sino para todos los pH, conforme a la reacción general de coagulación y floculación:



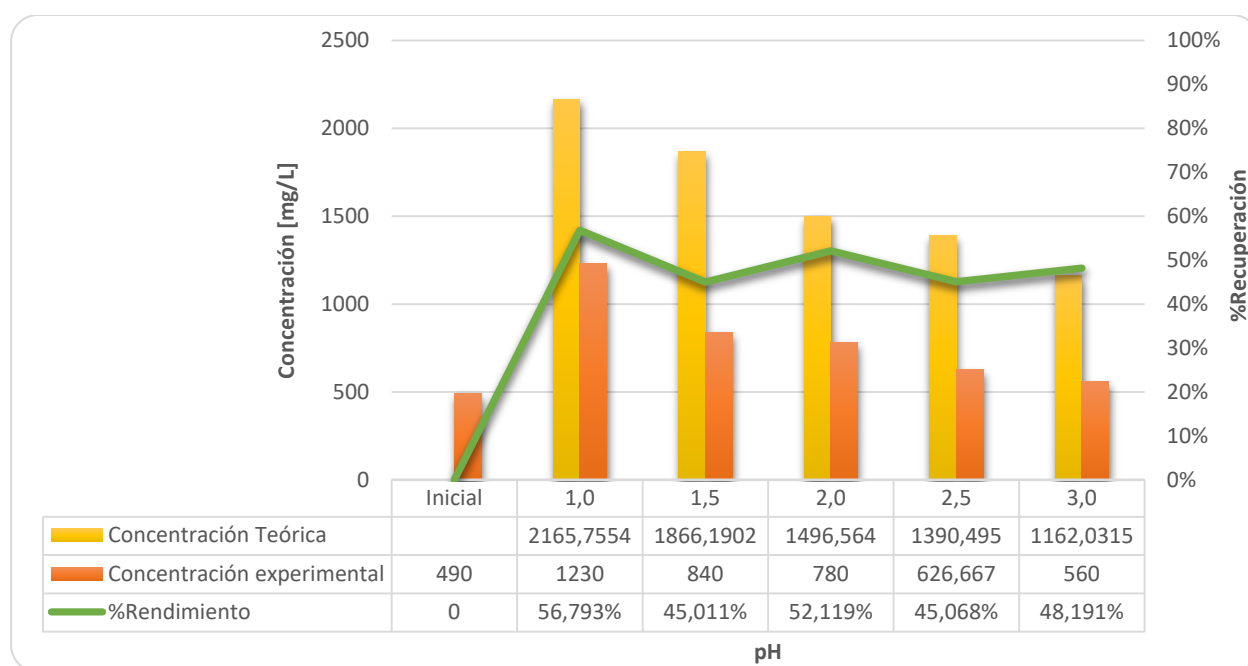
Los valores estequiométricos calculados de las especies químicas se encuentran en el [Anexo 8](#).

**Tabla 32.** Concentración y rendimiento de recuperación de aluminio residual a los diferentes pH

pH	Concentración Al+3 [mg/L]			Prueba de "Q" - Rechazo de datos / P=0,95			Promedio Concentración Al+3 [mg/L]	Concentración - Al+3[mg/L] Teórica	Rendimiento de recuperación
	Réplica	Resultado dilución	Resultado final	Resultado	R				
					A				
Inicial	1	0,49	490	1	X		490	-	-
	2	0,48	480						
	3	0,49	490						
1,0	1	1,24	1240	0,50			1230	2165,7554	56,793%
	2	1,22	1220						
	3	1,23	1230						
1,5	1	0,84	840	1	X		840	1866,1902	45,011%
	2	0,84	840						
	3	0,86	860						
2,0	1	0,77	770	1	X		780	1496,564	52,119%
	2	0,78	780						
	3	0,78	780						
2,5	1	0,65	650	0,8333			626,667	1390,495	45,068%
	2	0,59	590						
	3	0,64	640						
3,0	1	0,56	560	1	X		560	1162,0315	48,191%
	2	0,56	560						

*Nota: En la prueba de “Q” el R significa dato rechazado y la A significa dato aceptado. El posible valor dudoso es el resultado en rojo. Adicionalmente, la dilución realizada fue de 0,1 ml del sobrenadante de lodo, llevada a 100 ml de agua destilada desionizada y el resultado final fue calculado por  $C_1V_1=C_2V_2$ .*

Con respecto a lo anterior, en la Gráfica 1 se presenta la recuperación de sulfato de aluminio en relación con la concentración teórica y experimental de acuerdo la información de la Tabla 32, donde se analiza que el pH más bajo (1,0) es del que se puede recuperar más coagulante, debido que a mayor adición de ácido sulfúrico se intensifica los iones hidronio  $[H^+]$  en solución acuosa, otorgando la capacidad a los lodos de formar compuestos de aluminio mucho más solubles (Nuñez & Peña, 2011).

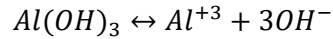


Gráfica 1. Porcentajes de rendimientos de recuperación de alúmina y concentración teórica y experimental

En vista de los datos obtenidos el pH determina las cargas superficiales de los lodos, lo que hace que la muestra inicial tenga un valor menor en proporción con los otros pH (1,0 – 3,0), ya que en principio el analito sin acidificar tiene una concentración de aluminio soluble muy baja, encontrándose en gran proporción como hidróxido de aluminio  $(Al(OH)_3)$ . Esta base que esta precipitada es poco soluble de acuerdo a la Constante del Producto de Solubilidad (KPS), que para el  $Al(OH)_3$  es igual a  $1,8 \cdot 10^{-33}$  (Holguín & Zaxarovich, 2009). Con base a lo anterior, la solubilidad



molar del  $Al(OH)_3$  se calculó con esta KPS y se obtuvo que es de  $2,8574 \cdot 10^{-9} M$  ( $2,23 \cdot 10^{-10} g/100ml$ ), es decir, solo 0,0000000028574 moles de esta base se solubiliza por cada litro de agua. A continuación, se presentan los equilibrios químicos con los respectivos resultados.



$$KPS = 27S^4$$

$$KPS = [Al^{+3}][OH^{-}]^3$$

$$KPS = [S][3S]^3$$

$$S = \sqrt[4]{\frac{1,8 \cdot 10^{-33}}{27}}$$

$$S = 2,8574 \cdot 10^{-9} M$$

De acuerdo a lo estudiado por Smith & Pierce (1991) los mayores valores de  $Al^{+3}$  están en los pH más ácidos por la ley de acción de masas, ya que al agregar  $H_2SO_4$  se eliminan los  $OH^{-}$ , generando agua y posteriormente aumentando la concentración de  $Al^{+3}_{(ac)}$  en la disolución; esto explica que al acidificar los lodos se solubiliza el aluminio en forma de  $Al_2(SO_4)_3$ . Esta sal de coagulación a diferencia de la base tiene una solubilidad de 2,5428 M (87 g/100ml), lo que quiere decir que es demasiado soluble, con una KPS de  $11,48113 \cdot 10^3$ .

Los cálculos de la KPS del  $Al_2(SO_4)_3$  se muestran a continuación:



$$KPS = [4S^2][27S^3]$$

$$KPS = [Al^{+3}]^2[SO_4]^{-3}$$

$$KPS = 108S^5$$

$$KPS = [2S]^2[3S]^3$$

$$KPS = 108(2,5428M)^5$$

$$KPS = 11,48113 \cdot 10^3$$

Luego de obtener el pH (1,0) con los mejores rendimientos se realizaron pruebas de mediciones en diferentes tiempos de mezcla correspondientes a los 5, 30 y 60 minutos con mediciones de aluminio y hierro, verificando el efecto del tiempo y velocidad de reacción del  $H_2SO_4$  con los lodos. Los resultados obtenidos para aluminio se tabulan en la Tabla 33 y para hierro

en la Tabla 34, donde también se les aplicó la prueba de “Q” con un porcentaje de confianza del 95%.

**Tabla 33.** Concentración y rendimiento de recuperación de aluminio residual a pH 1,0 a los diferentes tiempos de mezcla

pH	Tiempo de mezcla [min]	Concentración - Al+3[mg/L] Experimental			Prueba de "Q" - Rechazo de datos / P=0,95			Promedio Concentración Al+3 [mg/L]	Concentración - Al+3[mg/L] Teórica	Rendimiento de recuperación
		Réplica	Resultado dilución	Resultado final	Resultado	R	A			
1,0	5	1	0,85	850			850	2165,7554	39,247%	
		2	0,84	840	1	X				
		3	0,85	850						
	30	1	1,23	1230			1230	2165,7554	56,793%	
		2	1,25	1250	1	X				
		3	1,23	1230						
	60	1	1,70	1700			1666,667	2165,7554	76,955%	
		2	1,64	1640	0,667	X				
		3	1,66	1660						

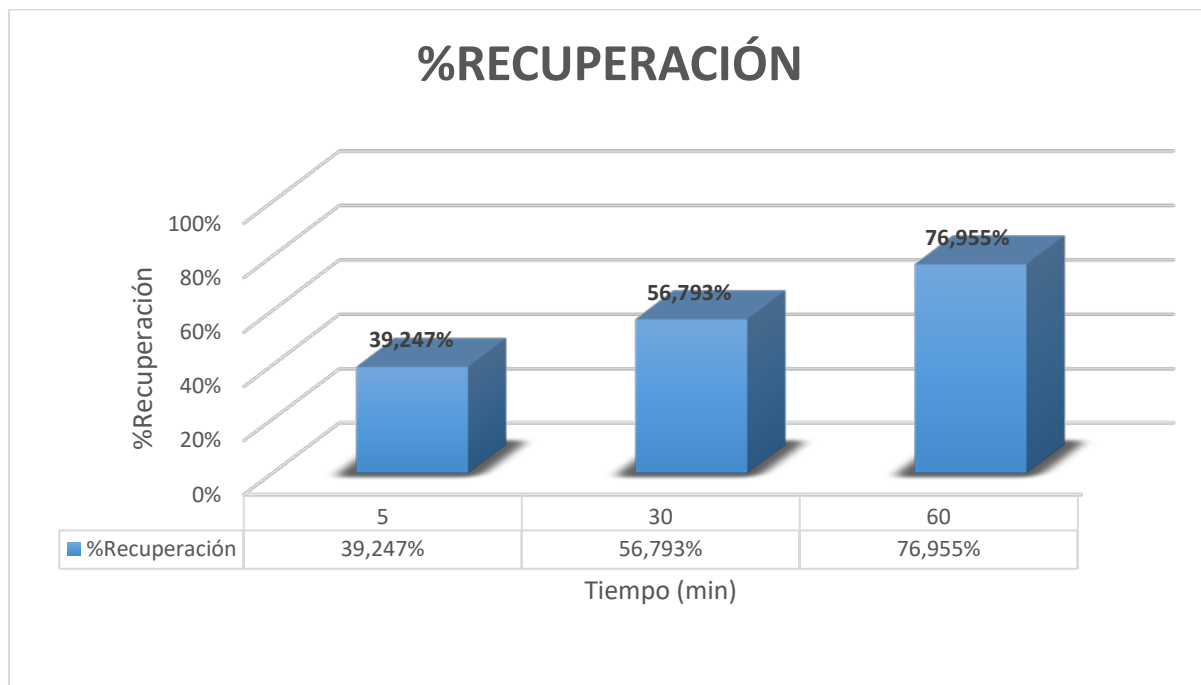
**Nota:** La dilución realizada fue de 0,1 ml del sobrenadante de lodo, llevada a 100 ml de agua destilada desionizada y el resultado final fue calculado por  $C_1V_1=C_2V_2$ .

Por lo tanto, la variable de tiempo de mezcla es influyente en la recuperación de sulfato de aluminio, mostrando en los resultados de la Tabla 33 una proporcionalidad directa entre tiempo y lixiviación de aluminio soluble, es por ello que a mayor lapso de agitación, también se acrecienta la concentración de  $Al^{+3}$  para un mismo pH. Este comportamiento se debe a que el lodo cuando se homogeniza a altas velocidades la capa de sólido líquido se mezcla totalmente, disminuyendo consecuentemente la resistencia del aluminio a disolverse con el  $H_2SO_4$  (Cheng, Fu, Chen, & Yu, 2012).

Adicionalmente, el estudio realizado por Cheng, Fua, Chenb, & Yua (2012), se compara con lo obtenido, permitiendo argumentar que a medida que se agrega el ácido, los iones  $H^+$

convierten aún más soluble las especies de aluminio en la capa más externa cuando se incrementa el tiempo de mezcla, elevando la concentración de  $Al^{+3}$ , pero también los óxidos y demás materiales inertes, junto con el material orgánico empiezan a reaccionar entre sí, sintetizando gradualmente una capa más gruesa que actúa como una barrera y que no deja que los  $H^+$  se difundan hacia el núcleo del lodo, por lo cual no se recupera en un 100% la alúmina. En cuanto a la velocidad que permaneció constante en 100 RPM se dice que es óptima, luego que la recuperación no aumenta con la velocidad de mezclado después de las 80 RPM, convirtiéndose este, en un punto del que por encima la lixiviación es invariable y no la afecta, debido a que la fase sólido – líquido no se puede homogenizar más (Chenga, Fua, Chenb, & Yua (2012); (Okuda, Nishijima, Sugimoto, Saka, & Nakai (2014).

En relación a lo dicho, en la Gráfica 2 se visualiza los porcentajes de recuperación a pH 1,0 en los diferentes tiempos de mezcla, evidenciando que a los 60 minutos de reacción fue el mayor rendimiento de lixiviación de la alúmina logrando un 76,955% (1666,667 mg/L) con respecto a la concentración teórica (2165,7554 mg/L).



Gráfica 2. Recuperación de aluminio residual a pH 1,0 a 5, 30, 60 minutos

Finalmente, en la Tabla 34 también se relacionan los resultados de hierro a pH 1,0 en los diferentes tiempos de mezcla, con una alta concentración a los 60 minutos e igualmente con una

relación directamente proporcional. Esto se debe que el ácido también lixivía el  $Fe^{+3}$  que proviene del agua cruda, pero también del coagulante comercial de alúmina que es de tipo B líquido (color café) con presencia de óxidos de hierro ( $Fe_2O_3$ ).

**Tabla 34.** Concentración de hierro residual a pH 1,0 a los diferentes tiempos de mezcla

pH	Tiempo de mezcla [min]	Concentración - Fe[mg/L]			Prueba de "Q" - Rechazo de datos / P=0,95			Promedio Concentración Fe+3 [mg/L]
		Réplica	Resultado dilución	Resultado final	Resultado	R	A	
1,0	5	1	1,49	1490	0,667		X	1483,333
		2	1,45	1450				
		3	1,51	1510				
	30	1	1,66	1660	0,667		X	1693,333
		2	1,72	1720				
		3	1,7	1700				
	60	1	2,08	2080	1	X		2080
		2	2,03	2030				
		3	2,08	2080				

**Nota:** La dilución realizada fue de 0,1 ml del sobrenadante de lodo, llevada a 100 ml de agua destilada desionizada y el resultado final fue calculado por  $C_1V_1=C_2V_2$ .

### 6.2.1.2. Ensayos de tratabilidad en la medición de la eficiencia de recuperación de sulfato de aluminio

Los resultados obtenidos de los ensayos de tratabilidad son reportados en la Tabla 35, donde se registran las mediciones tanto de color y turbiedad inicial, como de color y turbiedad final del agua cruda utilizada en las pruebas de los nueve ensayos realizados.

**Tabla 35.** Resultados de los ensayos de tratabilidad

Tratamiento	pH	Turbiedad inicial			Turbiedad final			Color inicial			Color final		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3

<i>PRIMER ENSAYO</i>													
<i>100% Lodo sin acidificar</i>					5,02	4,91	3,53				31,20	30,90	41,10
					4,93	4,83	4,39				30,70	29,80	38,40
					4,87	4,82	3,73				29,40	29,30	44,60
		3,45	4,85	3,75	5,12	4,08	4,33	29,70	27,60	32,40	28,40	29,60	39,60
					4,10	3,92	4,36				27,60	26,50	40,40
					3,91	4,04	2,56				26,40	30,80	39,20
<i>SEGUNDO ENSAYO</i>													
					2,35	1,39	2,02				26,30	27,30	24,50
					2,49	1,57	3,73				27,30	28,40	23,70
					2,52	1,77	3,54				27,20	27,80	22,90
	1,00	2,43	1,23	3,09	2,42	1,54	3,26	20,90	20,60	22,70	26,50	26,80	22,00
					2,67	2,30	3,10				28,40	29,90	22,80
					2,36	1,17	3,09				28,90	32,00	23,10
<i>TERCER ENSAYO</i>													
					2,67	1,18	2,83				35,50	24,80	31,00
					2,65	1,17	3,13				36,90	23,80	33,00
					2,73	1,78	3,64				35,50	25,00	32,60
	1,50	3,07	2,03	2,98	2,76	1,92	4,96	35,80	20,50	31,80	33,50	24,60	33,10
					2,99	2,02	4,43				37,50	25,90	33,70
					3,00	1,09	4,62				38,80	27,00	38,20
<i>CUARTO ENSAYO</i>													
					2,83	2,85	4,90				34,90	28,40	29,20
					3,10	3,06	4,49				34,10	26,30	28,30
					3,19	3,17	3,74				35,60	27,10	27,40
	2,00	3,60	3,28	4,12	3,35	2,92	3,77	32,00	23,20	25,40	34,50	26,20	28,60
					3,78	3,25	4,20				36,10	23,50	25,10
					3,47	3,12	3,95				37,20	21,70	23,80
<i>QUINTO ENSAYO</i>													
	2,50	3,29	3,75	3,61	3,48	3,50	3,56	27,20	25,20	26,80	31,60	28,30	31,00

					3,06	3,36	3,18				27,90	26,40	28,30	
					3,10	3,47	3,21				27,60	25,90	26,80	
					3,12	3,52	3,63				28,50	26,10	27,40	
					3,28	2,96	3,02				19,80	21,20	25,70	
					3,25	3,48	3,51				28,70	24,30	20,10	
					<i>SEXTO ENSAYO</i>									
					1,95	2,33	2,37				23,30	19,10	21,40	
					2,10	2,74	2,94				22,80	23,10	20,60	
	<b>3,00</b>	2,50	2,92	3,23	2,30	2,29	3,12	24,90	19,90	23,50	23,90	19,30	22,10	
					2,15	1,88	2,46				24,50	18,70	22,60	
					2,59	3,08	3,17				25,40	19,10	22,80	
					2,42	2,61	2,13				24,90	18,60	20,80	
					<i>SÉPTIMO ENSAYO</i>									
					6,45	1,48	3,92				31,20	29,20	26,10	
					5,42	1,63	4,05				30,20	28,50	27,50	
		4,87	1,36	3,73	6,62	1,84	5,12	27,40	22,10	24,60	30,90	29,70	28,30	
					6,97	1,79	4,37				31,80	30,60	28,00	
					5,61	1,87	4,49				23,50	29,60	26,80	
					3,89	2,20	2,88				19,90	28,70	19,50	
	<b>1,00</b>				<i>OCTAVO ENSAYO</i>									
					4,65	2,38	5,60				37,70	35,40	28,10	
					4,85	2,44	4,77				36,00	33,40	24,70	
		4,46	2,30	4,81	4,19	1,61	4,48	29,54	30,20	24,30	33,60	35,80	27,30	
					4,38	2,14	3,94				33,20	31,50	25,20	
					3,78	1,48	4,11				31,10	29,90	21,60	
					3,35	1,29	3,39				28,10	27,60	17,20	
					<i>NOVENO ENSAYO</i>									
89%	<b>Lodo 1,00</b>	2,39	2,57	5,23	1,82	1,44	2,96	29,20	27,30	21,00	21,20	17,80	24,70	
					1,41	1,35	3,26				17,70	16,30	24,50	

50% Lodo acidificado/50% Coagulante comercial



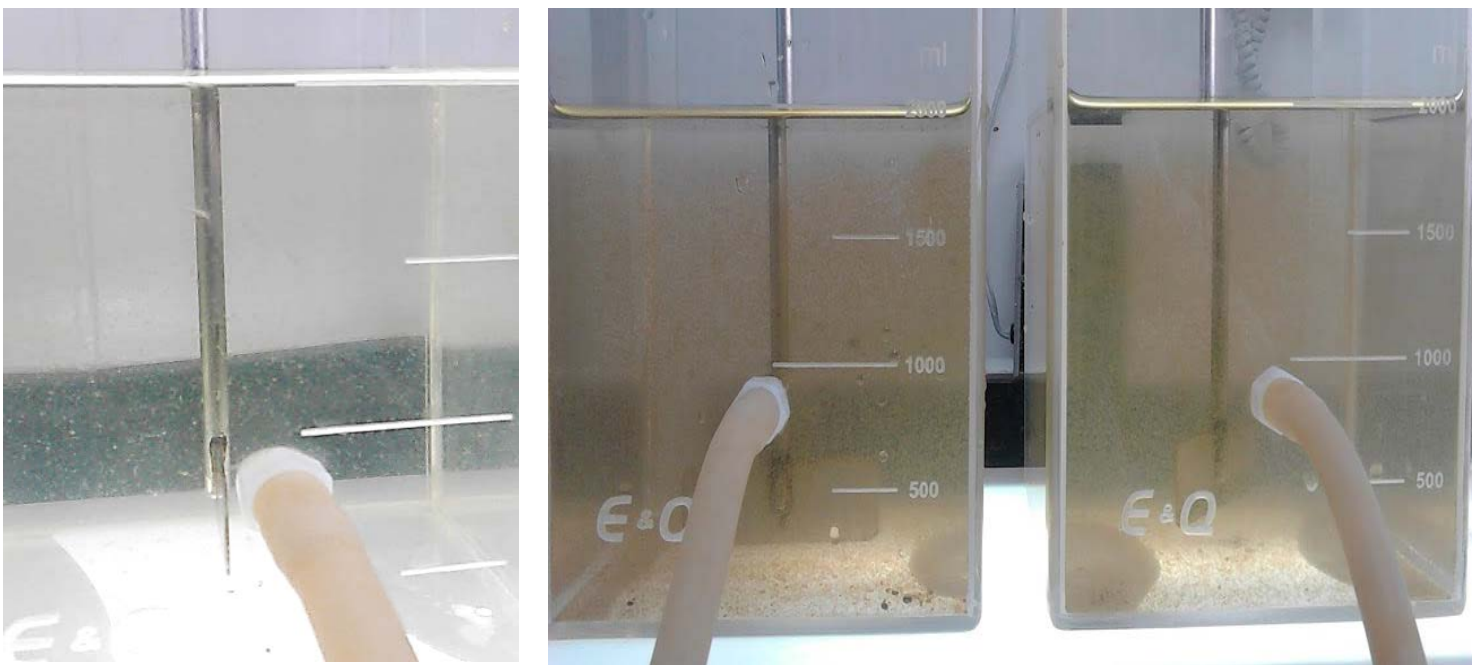
1,02	0,73	2,45	14,70	12,70	20,50
1,45	0,89	1,68	17,10	13,90	17,90
1,05	0,64	1,60	14,40	12,00	14,70
1,05	0,62	0,78	14,10	11,20	12,40

Los resultados de la eficiencia de la recuperación de sulfato de aluminio se registran en el [Anexo 11](#), los cuales se obtuvieron a partir de los datos de la Tabla 35. El rendimiento se halló por la reducción de color y turbiedad según la dosis aplicada por cada jarra en los tratamientos establecidos en el [Anexo 6](#). Dicho lo anterior, el comportamiento de la remoción de color y turbiedad se evidencia en la Gráfica 3 hasta la Gráfica 20.

Conforme a la evaluación del rendimiento del uso de lodo como un *reactivo coagulante* en el proceso de potabilización, se presentaron variaciones en la remoción de color y turbiedad por cada tratamiento y dosificación del mismo en los ensayos de tratabilidad registrando porcentajes de rendimiento, tanto positivos, como negativos. Ahora bien, la primera variable de diagnóstico fue la turbiedad, ya que esta es indicadora por aproximación del contenido de material coloidal, mineral y orgánico en la matriz agua, además de ser una de las propiedades de control de la calidad de la misma con fácil medición e interpretación (Marcó, Azario, Metzler, & García (2004); (Montoya, Loaiza, Torres, Cruz, & Escobar (2011)); en segundo lugar, el color es parte demostrativa de la presencia de ácidos húmicos, hierro y manganeso (Secades, 1990). Estos parámetros fueron funcionales, luego que en la planta potabilizadora se deben reducir hasta cumplir con la normativa vigente colombiana (Resolución 2115 de 2007) en la coagulación y floculación, que son los procesos simulados en los ensayos de tratabilidad.

De acuerdo a estos argumentos, el análisis comparativo de cada ensayo demuestra que los tratamientos presentaron variaciones uno del otro, donde la Gráfica 3 a la Gráfica 18 evidencian que los rendimientos son más negativos que positivos, es decir, que la dosificación aplicada, en vez de restar cuantitativamente el color y turbiedad inicial, finalmente los aumento. Este comportamiento se debe a que hubo formación del floc pero no sedimentación, quedando en suspensión las partículas aglomeradas (ver Figura 40).

Con base a la teoría de la floculación, en el proceso de desestabilización de sólidos que se encontraban en el agua sí hubo formación de partículas de mayor tamaño, pero no de suficiente peso específico (no superior a la del agua) (Restrepo, 2009), lo que no permitió la decantación, aumentando el color y la turbiedad. Más aún, influye la interacción de los coloides, donde predominaron las cargas negativas generando un efecto de suspensión y dispersión entre el material sólido de la fuente de agua manejada y el lodo como sustancia coagulante (Jiang, 2015). Lo anterior se comprobó a través del tratamiento 1 al tratamiento 8, donde los flóculos generaron crecimiento, sin embargo la fuerza de atracción con el *reactivo de lodo* fue débil impidiendo su capacidad de recrecimiento y posterior suspensión



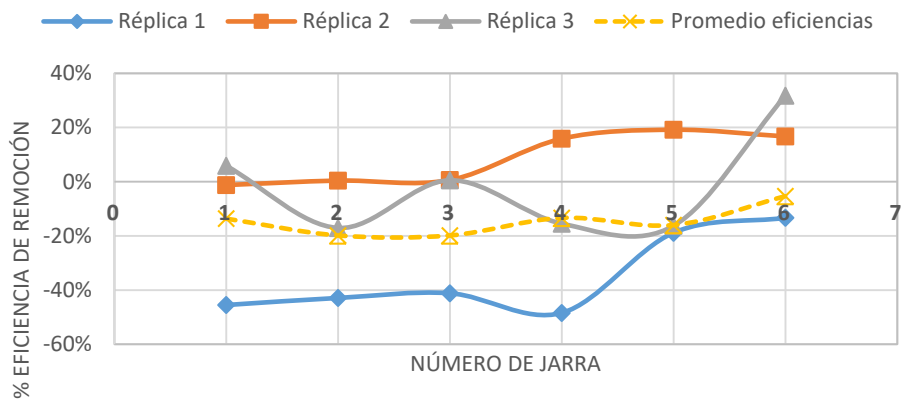
(a)

(b)

Figura 40. Floc (en suspensión) no sedimentado. (a) Fuente de agua – Pozo San Rafael y Gatillo 2; (b) Fuente de agua – Santa Marta y Gatillo 2

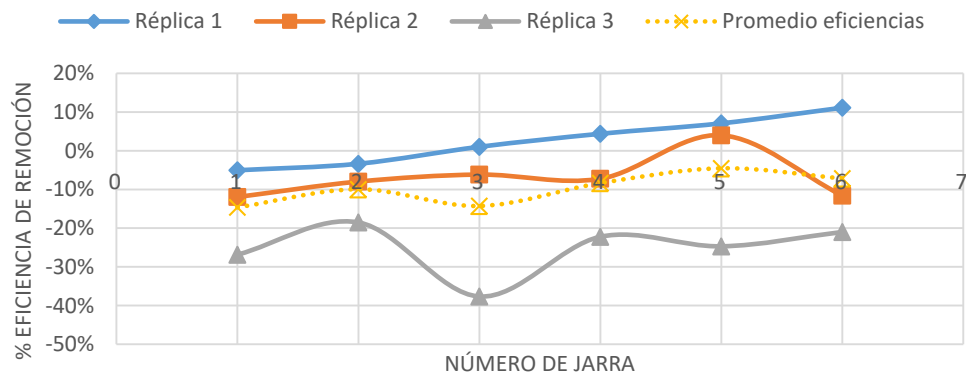
Ahora bien, el tratamiento 9 evidenciado en la Gráfica 19 (remoción de turbiedad) y la Gráfica 20 (remoción de color) fue el que presentó mayores rendimientos, en cuanto a que los porcentajes en general se establecieron dentro del rango positivo y el promedio de las tres réplicas también, por lo tanto, este ensayo es el que manifiesta eficiencias superiores, con respecto a los siete tratamientos anteriores.

### %EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD - 100% LODOS SIN ACIDIFICAR



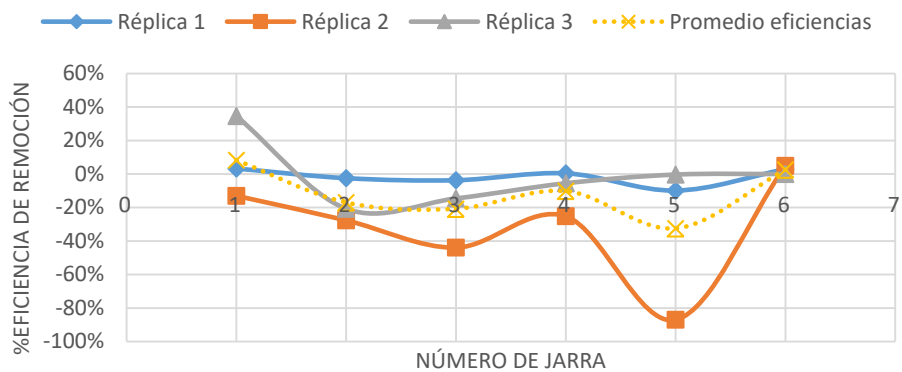
Gráfica 3. Eficiencia de remoción de turbiedad – Tratamiento 1

### %EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLOR - 100% LODOS SIN ACIDIFICAR



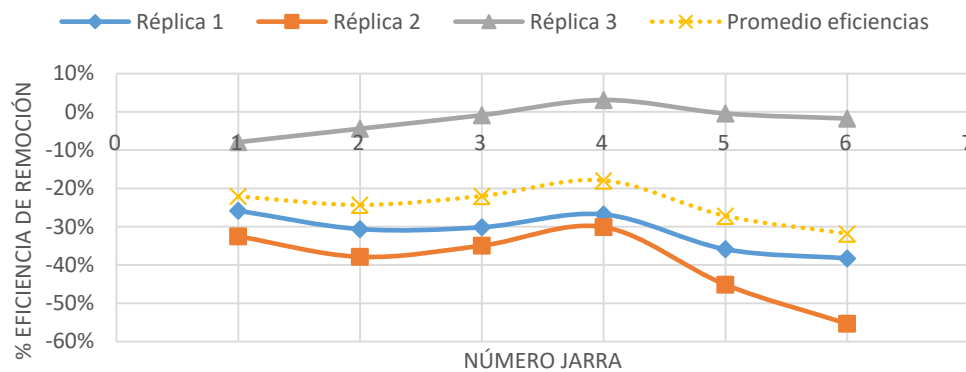
Gráfica 4. Eficiencia de remoción de color – Tratamiento 1

### %EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD - 100% LODO ACIDIFICADO/pH:1,0



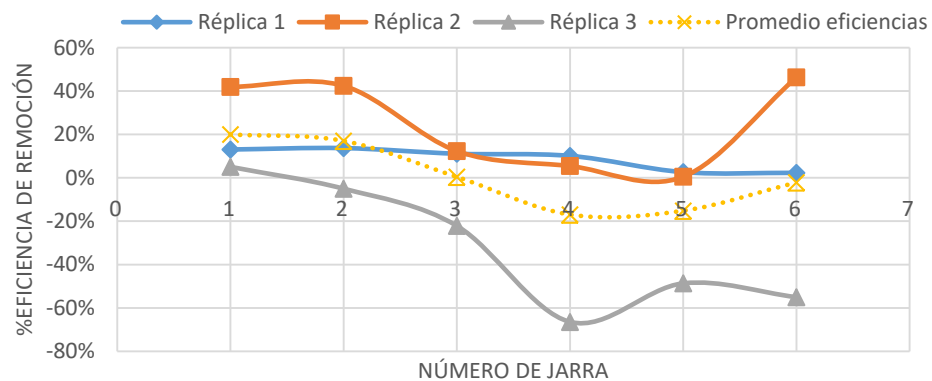
Gráfica 5. Eficiencia de remoción de turbiedad – Tratamiento 2

### %EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLOR - 100% LODO ACIDIFICADO/pH:1,0



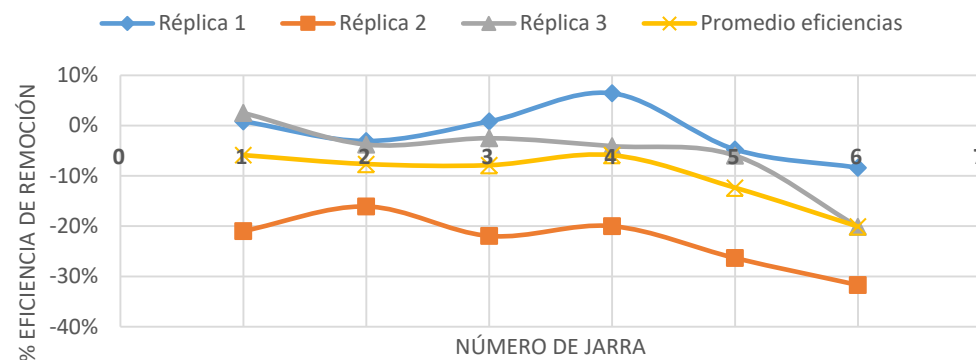
Gráfica 6. Eficiencia de remoción de color – Tratamiento 2

**%EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD - 100% LODO ACIDIFICADO/pH:1,5**



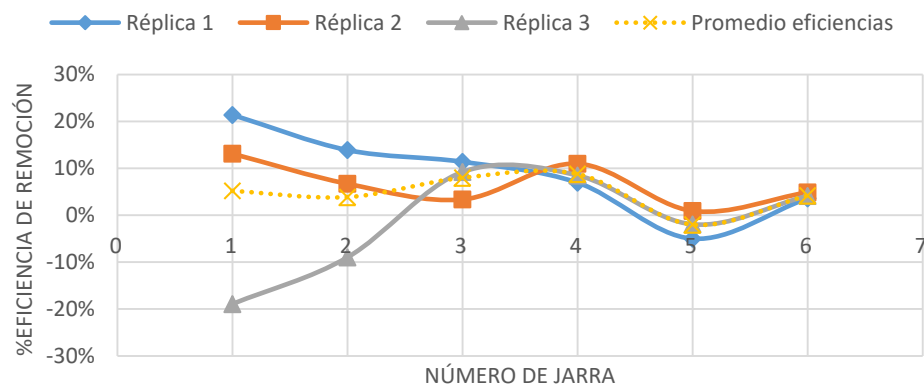
Gráfica 7. Eficiencia de remoción de turbiedad – Tratamiento 3

**%EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLOR - 100% LODO ACIDIFICADO/pH:1,5**



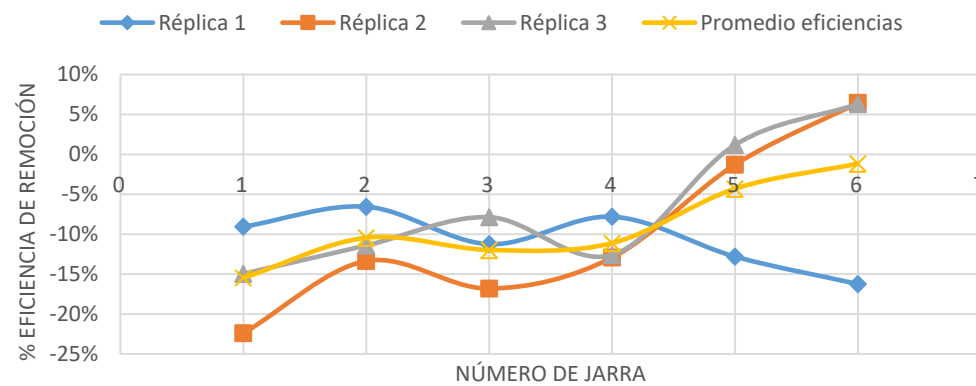
Gráfica 8. Eficiencia de remoción de color – Tratamiento 3

**%EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD - 100% LODO ACIDIFICADO/pH:2,0**



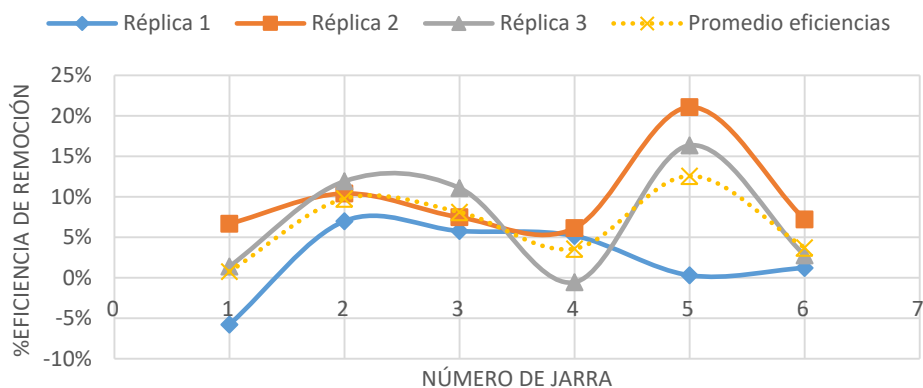
Gráfica 9. Eficiencia de remoción de turbiedad – Tratamiento 4

**%EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLOR - 100% LODO ACIDIFICADO/pH:2,0**



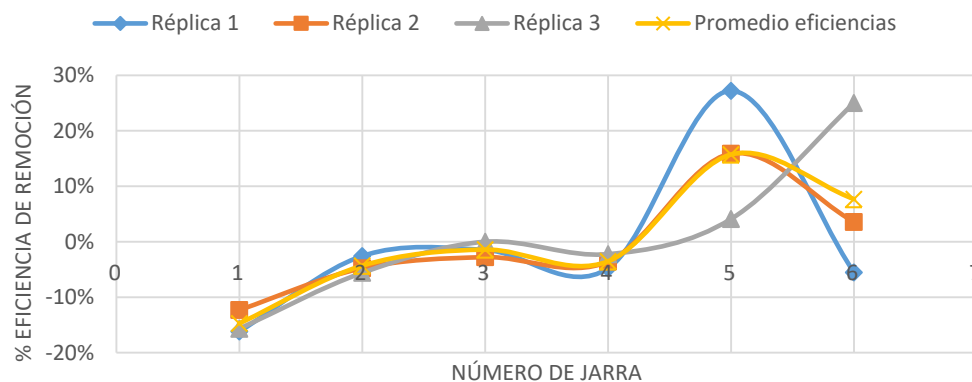
Gráfica 10. Eficiencia de remoción de color – Tratamiento 4

**%EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD - 100% LODO ACIDIFICADO/pH:2,5**



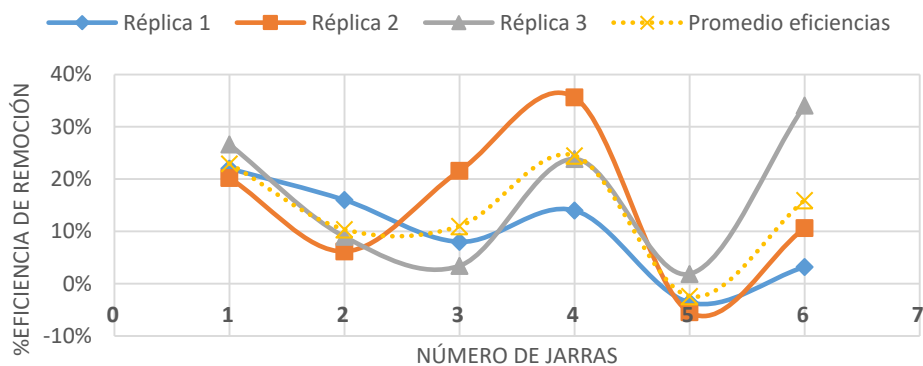
Gráfica 11. Eficiencia de remoción de turbiedad – Tratamiento 5

**%EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLOR - 100% LODO ACIDIFICADO/pH:2,5**



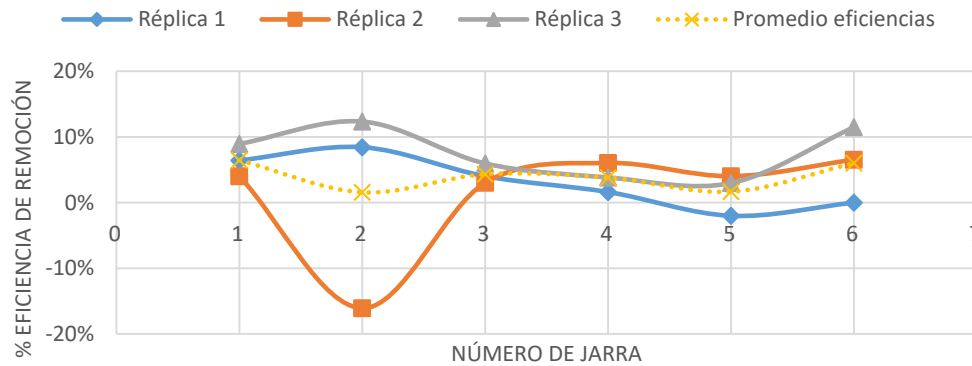
Gráfica 12. Eficiencia de remoción de color – Tratamiento 5

**%EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD - 100% LODO ACIDIFICADO/pH:3,0**



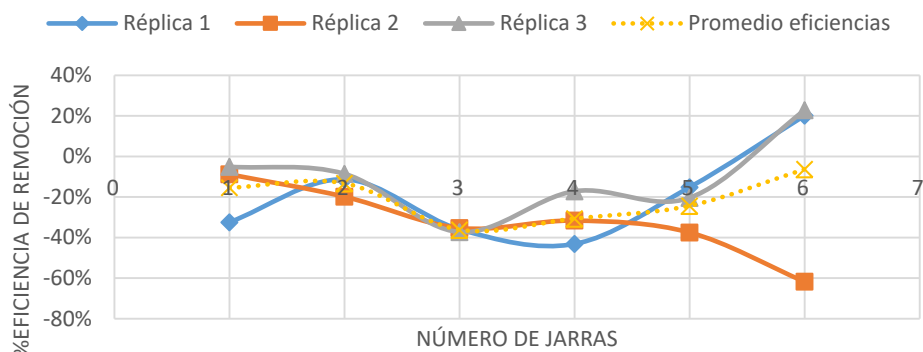
Gráfica 13. Eficiencia de remoción de turbiedad – Tratamiento 6

**%EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLOR - 100% LODO ACIDIFICADO/pH:3,0**



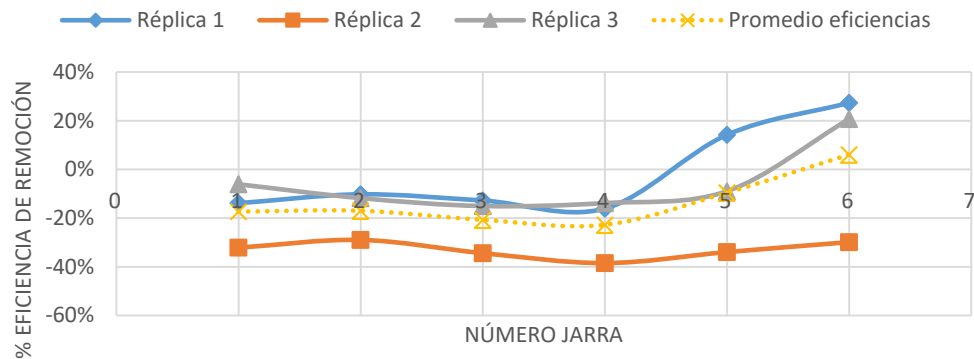
Gráfica 14. Eficiencia de remoción de color – Tratamiento 6

### %EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD - SÉPTIMO ENSAYO



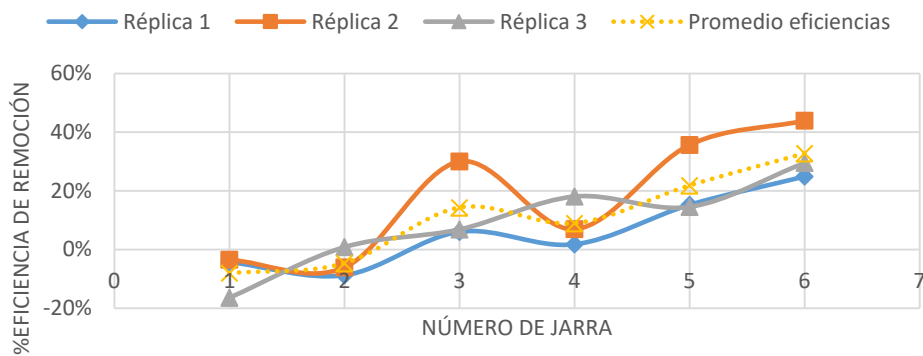
Gráfica 15. Eficiencia de remoción de turbiedad – Tratamiento 7

### %EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLOR - SÉPTIMO ENSAYO



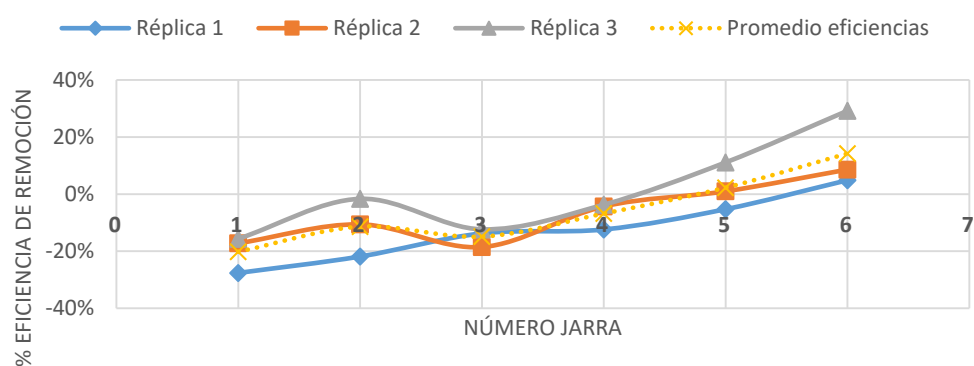
Gráfica 16. Eficiencia de remoción de color – Tratamiento 7

### %EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD - OCTAVO ENSAYO



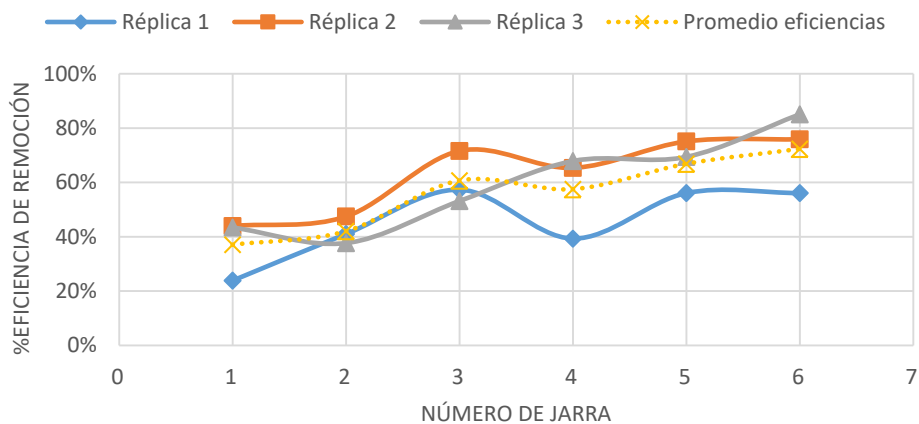
Gráfica 17. Eficiencia de remoción de turbiedad – Tratamiento 8

### %EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLOR - OCTAVO ENSAYO



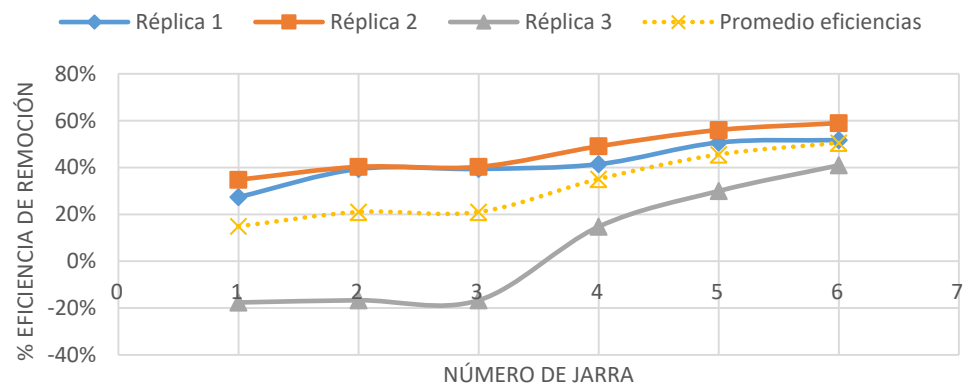
Gráfica 18. Eficiencia de remoción de color – Tratamiento 8

### %EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD - NOVENO ENSAYO



Gráfica 19. Eficiencia de remoción de turbiedad – Tratamiento 9

### %EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COLOR - NOVENO ENSAYO



Gráfica 20. Eficiencia de remoción de color – Tratamiento 9



Desde el punto de vista de la potabilización en la E.A.F. S.A.S. E.S.P., se puede optar por seleccionar el lodo como coadyuvante sincrónico de la alúmina ( $\text{Al}_2(\text{SO}_3)_3$ ) en una proporción de 89% lodo/11% alúmina, disminuyendo la dosis de sulfato aproximadamente en un 50%, obteniendo reducciones promedio de turbiedad entre el 37 – 73% y de color entre el 14 – 51%. Este ensayo, según la Gráfica 19 y Gráfica 20 presenta unas curvas con una tendencia ascendente, en el que aumentando la dosificación la remoción de color y turbiedad es superior, pero según la experimentación de Su, Liu, Yu, Li, & Graham (2017), los parámetros aumentan, después de la dosis óptima, ocasionando un decaimiento en la tendencia de la curva. En cuanto a la reducción del volumen total de ( $\text{Al}_2(\text{SO}_3)_3$ ), se dice que mensualmente se están gastando entre 14000 y 15000 L, pero utilizando el lodo como reactivo coadyuvante del sulfato se estaría reduciendo a 6666 L.

No obstante, lo desarrollado en la recuperación del sulfato de aluminio se afianza con los resultados de aluminio y hierro residual en la mejor jarra<sup>9</sup> del tratamiento 9, evidenciando que las mediciones sobrepasan los valores máximos permisibles estipulados en la Resolución 2115 de 2007 al final del ensayo de jarras; es decir, que las concentraciones de aluminio son mayores a 0,2 mg/L y las de hierro a 0,3 mg/L, como se muestra en la Tabla 36.

**Tabla 36.** Concentración de Aluminio y Hierro Residual en la mejor jarra del tratamiento 9

<i>Réplica</i>	<i>Concentración de Aluminio Residual – <math>\text{Al}^{+3}</math> [mg/L]</i>	<i>Concentración de Hierro Residual – <math>\text{Fe}^{+3}</math> [mg/L]</i>
1	0,49	0,75
2	0,40	0,93
3	0,41	0,72

Por consiguiente, estos residuales de aluminio y hierro representan una limitación en el uso del lodo como *reactivo* coadyuvante del sulfato de aluminio en la potabilización de agua, luego que los porcentajes de exceso tabulados en la Tabla 37 son mayores e iguales al 50% en ambas

<sup>9</sup> Tratamiento 9 – 89% Lodo:11% coagulante, medición en la jarra 6, con una dosificación de 108,302 mg/L de lodo:15,984 mg/L de coagulante.

características, con respeto a la norma (Resolución 2115 de 2007), generando un impedimento en el aprovechamiento de este residuo para la coagulación.

*Tabla 37. Porcentajes de exceso de aluminio y hierro residual*

<i>Réplica</i>	<i>Porcentaje de exceso de Al<sup>+3</sup></i>	<i>Porcentaje de exceso de Fe<sup>+3</sup></i>
1	59,184%	60,000%
2	50,000%	67,742%
3	51,220%	58,333%
<b><i>Promedio</i></b>	53,468%	62,025%

Sin embargo, estos residuales se podrían minimizar en la planta en la etapa de filtración, según lo que postula la OMS (2006) en la *Guía para la calidad del agua potable*, otorgando la posibilidad de usar el lodo como reactivo de coagulación de forma viable y a largo plazo.

## 8.2.2. LODO COMO ACONDICIONADOR DE SUELO

### 8.2.2.1. Viabilidad de semillas

En la lectura de las semillas germinadas de la prueba de viabilidad se obtuvieron los resultados que aparecen en la Tabla 38, indicando que las únicas que se podían utilizar en los tratamientos experimentales fueron las semillas de repollo. Las semillas que no germinaron de hierbabuena y tomillo se deben a que perdieron su poder germinativo porque sufrieron daños en su fisiología vegetal (Cuadra, 1992).

*Tabla 38. Germinación de semillas en la prueba de viabilidad*

Nombre semilla	Semillas germinadas	Porcentaje de germinación	Implementación	
			Sí	No
Repollo	21/25	84%	X	
Hierbabuena	0/25	0%		X
Tomillo	0/25	0%		X
Zanahoria	17/25	68%		X

### 8.2.2.2. Pruebas de germinación e inhibición

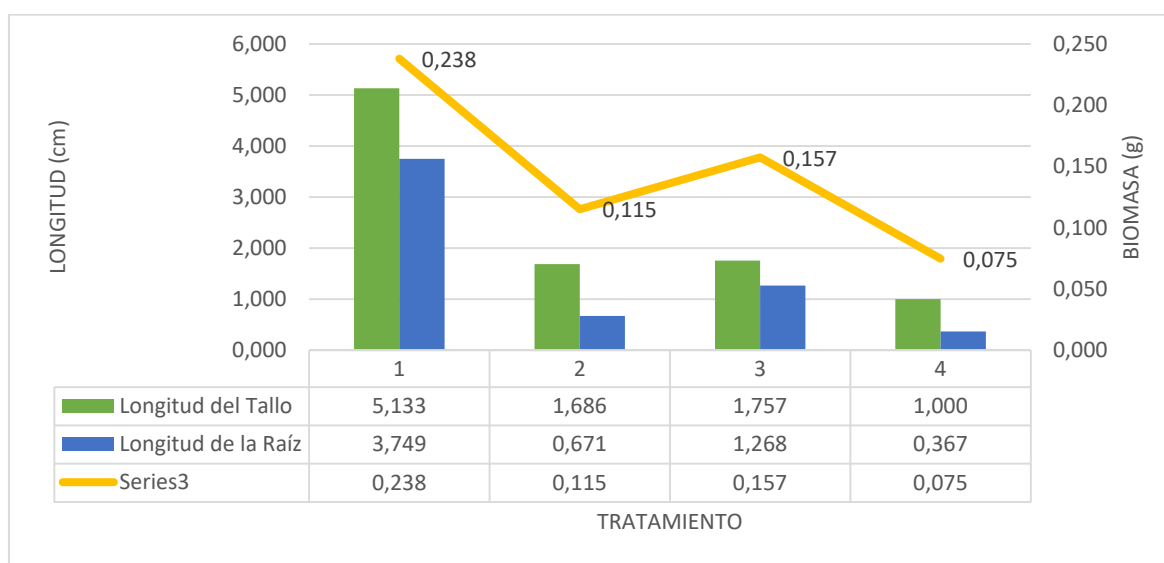
✓ *Prueba para usar el lodo directamente como abono orgánico*

Los 4 tratamientos realizados para evaluar la posibilidad de aprovechar el lodo de alumbre como abono orgánico de manera directa al suelo es baja, empezando porque el porcentaje de germinación de este es menor, con respecto al porcentaje de germinación del sustrato de control (turba) (ver Tabla 39).

**Tabla 39.** Porcentaje de germinación por los 4 tratamientos

<i>Pruebas de germinación (%G)</i>			
<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>
<i>100% Turba</i>	<i>25% Turba:75% Lodo</i>	<i>50% Turba:50% Lodo</i>	<i>100% Lodo</i>
36	7	23	3
75,00%	14,58%	47,92%	6,25%

De los 4 tratamientos, 3 que tenían alguna proporción de lodo no tuvieron un óptimo crecimiento ni germinación de la semilla repollo, evidenciando que a medida que aumenta la cantidad del residuo, disminuye la longitud del tallo, la raíz y la biomasa de las plántulas, como se ilustra en la Gráfica 21. En el [Anexo 12](#) se presentan las mediciones de estos parámetros.



*Gráfica 21. Longitud de tallo y raíz para los cuatro tratamientos establecidos*

Argumentando lo anteriormente dicho, en la Figura 41, se muestra que en el día uno fue donde empezaron a crecer las plántulas en la relación 100% turba y en el día 5 (Figura 42) la elongación se incrementa en el tratamiento 1 y 3. Sin embargo, no se reportaron muertes de las plantas en ninguno de los tratamientos del semillero, ni tampoco anomalías, pudiendo establecer una gran similitud de estos resultados con los reportados por el laboratorio de suelos del IGAC que se encuentran en el [Anexo 14](#).



*Figura 41. Día uno de la prueba de germinación*



*Figura 42. Día 5 de la prueba de germinación*

Posteriormente, en la Figura 43 y Figura 44 se muestra el sustrato extraído, donde se encuentra suelto permitiendo que la raíz se desarrolle de una manera óptima. En este punto, se encuentra el limitante para utilizar el lodo como abono directo, ya que el lodo en una proporción pura del 100% se compacta, no permitiendo que las raíces y la plántula se desarrollen correctamente, inhibiendo el crecimiento de las mismas. Esto se debe especialmente a los altos contenidos de aluminio y hierro que tienen los fangos de la E.A.F. S.A.S. E.S.P.



Figura 43. Plántulas extraídas luego de los 5 días de germinación del tratamiento 1



Figura 44. Óvalo rojo, corresponde a las plántulas del tratamiento 3 y el óvalo azul a las plántulas del tratamiento 1

Por lo tanto, en la evaluación de esta alternativa, tanto a escala de laboratorio, como a un uso potencial (*in – situ*) de este lodo de alumbre no es tan factible, ya que ocasionaría toxicidad a las plantas y acidificación a los suelos por el  $Al^{+3}$  y  $Fe^{+3}$ , aumentando la fitotoxicidad de estos elementos, generando el movimiento o lixiviación en las aguas superficiales y la infiltración en los suelos (Dassanayake, Jayasinghe, Surapaneni, & Hetherington, 2015), conllevando a una contaminación de los acuíferos del municipio de Facatativá y más cuando los suelos son de pH bajo ya que facilita la solubilidad de estos iones.

#### ✓ Prueba para utilizar el lodo como compostaje

Ahora bien, las pruebas experimentales que se llevaron a cabo para aprovechar el lodo como compostaje concedieron unos resultados más viables en su aprovechamiento como acondicionador de suelo, junto con la equinaza mostrando los resultados de la lectura en el primer día (Tabla 40), en el tercer día (Tabla 41) y en el quinto día (Tabla 42). En estos reportes se tuvo en cuenta que el total de las semillas de repollo utilizadas en el tratamiento 1 fue de 64 y para los restantes de 48.

**Tabla 40.** Resultados de germinación de semillas de repollo en el día 1 para compostaje

---

Día 1

---

<i>Pruebas de germinación (%G)</i>			
<i>Réplica</i>	<i>Tratamiento 1-Turba</i>	<i>Tratamiento 2-SA</i>	<i>Tratamiento 3-CA</i>
1	13	11	3
2	2	6	1
3	5	10	2
4	6	-	-
<i>Total</i>	26	27	6
<i>%Germinación</i>	40,625%	56,250%	12,500%
<i>Semillas totales</i>	64	48	48

**Tabla 41.** Resultados de germinación de semillas de repollo en el día 3 para compostaje

<i>Día 3</i>			
<i>Pruebas de germinación (%G)</i>			
<i>Réplica</i>	<i>Tratamiento 1-Turba</i>	<i>Tratamiento 2-SA</i>	<i>Tratamiento 3-CA</i>
1	13	11	5
2	8	7	1
3	10	14	2
4	14	-	-
<i>Total</i>	45	32	8
<i>%G</i>	70,313%	66,667%	16,667%
<i>Semillas totales</i>	64	48	48

**Tabla 42.** Resultados de germinación de semillas de repollo en el día 5 para compostaje

<i>Día 5</i>			
<i>Pruebas de germinación (%G)</i>			
<i>Réplica</i>	<i>Tratamiento 1-Turba</i>	<i>Tratamiento 2-SA</i>	<i>Tratamiento 3-CA</i>

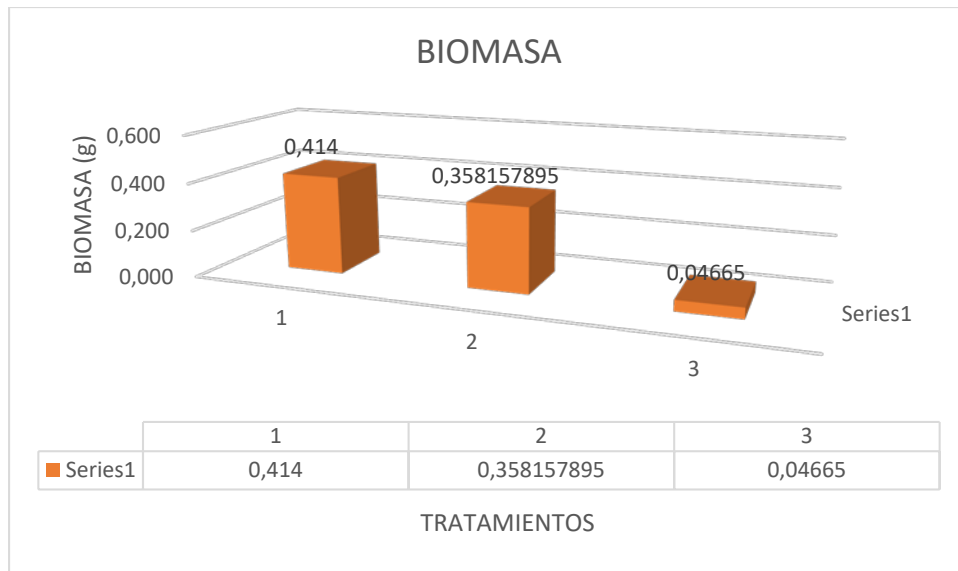
1	13	15	5
2	10	9	1
3	13	14	2
4	12	-	-
<i>Total</i>	48	38	8
<i>%G</i>	75,00%	79,17%	16,67%
<i>Semillas totales</i>	64	48	48

Esta información indica que aprovechar los lodos en compostaje, con una proporción de 75% lodo:25% equinaza en el tratamiento sin adición, es viable, en cuanto a que supera los valores de germinación del sustrato de control que es la turba (75%), obteniendo un porcentaje de aproximadamente el 79%. Además, sería parte de la solución sostenible y sustentable de la disposición final de estos lodos, ya que reduciría el volumen de estos fangos que actualmente son desechados sin ningún uso.

No obstante, se contribuiría a darle otro uso a la equinaza proveniente de la Escuela de Carabineros del municipio, ayudando a reducir este material que es tan abundante para utilizarlo como enmienda orgánica en los suelos, lo cual se estabilizaría con el lodo de alumbre, sintetizando órganominerales estables, mediante un proceso de biotransformación que evita la contaminación orgánica en suelos, aire y agua superficial y subterránea (Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares, 2003).

Seguidamente, analizando la biomasa de las plántulas se capturaron los resultados promedio por cada tratamiento (en el [Anexo 13](#) se encuentran todos los datos), siendo la mezcla sin adición muy cercana al tratamiento de solo turba, que se evidencia en la Gráfica 22. En cambio, el tratamiento con adición se compactó y no generó las condiciones de estado adecuadas para las semillas de repollo (Cuadra, 1992). Desde la Figura 45 a la 48 se demuestra lo obtenido, señalando que no se encontraron plántulas muertas o enfermas.





Gráfica 22. Promedios de biomasa por tratamiento



Figura 45. Germinación en el tratamiento sin adición



Figura 46. Germinación en el tratamiento de 100% Turba

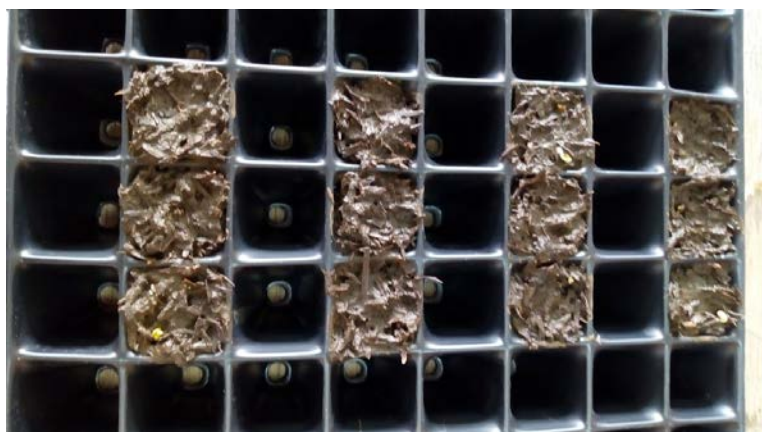


Figura 47. Germinación en el tratamiento con adición



Figura 48. Plántula de los ensayos de germinación

### 8.2.3. LODO COMO MATERIA PRIMA EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS

En relación a la NTC – 4205 los parámetros evaluados se relacionan con la Tabla 43, para conocer si el lodo sirve como materia prima en la elaboración de ladrillos.

**Tabla 43.** Valores establecidos en la NTC 4205

<i>Absorción Máxima de agua en 24h</i>	<i>Tasa Inicial de absorción (TIA)g/cm<sup>2</sup>/min</i>
<i>NTC – 4205</i>	<i>NTC – 4205</i>
<i>Promedio 5 Unidades</i>	<i>Resultado Experimental</i>
<i>13</i>	<i>&lt;0,10</i>

Los ladrillos obtenidos de la mezcla de 50 % Arena:50% Lodo se rompieron en el proceso de cocción, por lo que no se les pudo realizar pruebas, indicando que no es la proporción adecuada para realizar unidades de mampostería.

En cambio en la en la Tabla 44 se muestran las unidades experimentales, según la mezcla correspondiente, en los procesos de pesaje y de pruebas implementadas.

**Tabla 44.** Unidades de experimentación estructural



*100% Lodo Seco*



*100% Lodo aplicado la TIA*



*Ladrillos con las diferentes mezclas*

Los resultados obtenidos de los ladrillos en masa seca, saturados de agua a 1 minuto y saturados de agua por 24 horas se presentan en la Tabla 45.

**Tabla 45.** Masa de ladrillos en los diferentes tiempos

		<i>Mseco (g)</i>			
<i>100% Lodo</i>	<i>50%L:50%Arena</i>	<i>60%Arcilla:40% Lodo</i>	<i>90%Arcilla:10% Lodo</i>	<i>95%Arcilla:5% Lodo</i>	<i>100%Arcilla</i>
87,267	-	127,8714	111,7829	113,6497	116,7201
78,167	-	128,342	119,9544	114,644	-
75,06	-	126,876	116,9254	113,8431	-
80,1646667		127,6964667	116,2209	114,0456	116,7201

<i>I<sub>min</sub></i>					
111,168	-	141,834	122,7123	117,2653	118,2341
103,577	-	143,765	140,765	117,996	-
103,112	-	139,765	129,453	116,002	-
105,952333		141,788	130,9767667	117,0877667	118,2341
<i>24 h</i>					
105,113	-	147,642	132,638	120,453	121,054

Finalmente, los resultados de las dos pruebas se presentan en la Tabla 46, donde solo la mezcla de 95% Arcilla:5% Lodo cumple con la tasa inicial de absorción y la absorción máxima de agua a 24 horas, lo que hace que sea el tratamiento óptimo para la utilización de lodos como materia prima en ladrillos.

**Tabla 46.** Resultados de pruebas para las unidades de mampostería

<i>Resultado Tasa Inicial de absorción</i>					
6,44691667		3,522883333	3,688966667	0,760541667	0,3785
<i>Absorción Máxima de Agua 24h</i>					
31,121%	-	15,619%	14,1258%	5,618%	3,713%

## 9. ANÁLISIS FINANCIERO Y AMBIENTAL

### 9.1. ESTUDIO FINANCIERO DEL PROYECTO

Luego de haber evaluado cada una de las alternativas de aprovechamiento de los lodos de la E.A.F. S.A.S. E.S.P. y haber identificado los aspectos técnicos de cada una de ellas, ahora se valoran en el proyecto desde la perspectiva monetaria, con base a la construcción de un flujo de caja, que encerró la recuperación de sulfato de aluminio, el lodo como compostaje y finalmente, como materia prima para la fabricación de ladrillos.

La última etapa de análisis del proyecto se fundamentó desde el estudio financiero, el cual suministró la rentabilidad en términos de costos para aprovechar los lodos de alúmina con las diferentes alternativas ensayadas.

De manera continua y complementaria a los apartados anteriores, se hizo una vinculación con la información financiera proyectada a 5 años, lo cual engloba el monto de las inversiones a realizar, así como, los costos e ingresos, que finalmente conllevó a definir la rentabilidad de dar un uso a los fangos del Acueducto del municipio de Facatativá. Posteriormente, con la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN) se estudió que tan beneficioso es ejecutar la propuesta de aprovechamiento de fangos.

En este punto, se considera en detalle las etapas que estructuran el estudio financiero, desde la inversión hasta el cálculo de la rentabilidad con indicadores.

#### *A. Inversión*

De este modo, las inversiones están dadas por los activos fijos depreciables (son los que se desgastan en el proceso productivo) y los activos intangibles, plasmados en la Tabla 47 y la Tabla 48, que corresponden a las inversiones iniciales para poder ejecutar el uso de los lodos (Sapag, 2007).

La depreciación anual se calculó por la siguiente expresión matemática:

$$DA = \frac{\text{Valor de adquisición}}{\text{Vida Útil}}$$

**Tabla 47.** Activos fijos depreciables del proyecto

<i>Activos Fijos Depreciables</i>						
<i>Nombre Activo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cant.</i>	<i>Valor Unitario</i>	<i>Valor Total</i>	<i>Vida Útil</i>	<i>Depreciación Anual</i>
Bomba de extracción de lodos residuales	Un.	1	\$ 1.217.370	\$ 1.217.370	10	\$ 121.737
Mufla	Un.	1	\$ 10.809.200	\$ 10.809.200	10	\$ 1.080.920
Moldes de ladrillo macizo	Un.	50	\$ 10.000	\$ 500.000	1	\$ 500.000
Impermeabilización área de compostaje	m2	6	\$ 19.668	\$ 118.008	20	\$ 5.900
<i>Total</i>				\$ 12.644.578		\$ 1.708.557

**Tabla 48.** Activos fijos depreciables del proyecto

<i>Activos Intangibles</i>	
<i>Nombre Activo</i>	<i>Valor Unitario</i>
<i>Servicios públicos</i>	
Energía eléctrica	\$ 1.981.593
<i>Evaluación del proyecto</i>	
Investigadores	\$ 5.555.000
Bibliografía	\$ 420.000
Análisis de laboratorio	\$ 850.000
Fungibles	\$ 500.000
Arcilla	\$ 1.500.000
Ácido sulfúrico	\$ 3.831.100
Sulfato de Aluminio	\$ 6.666.660
Equinaza	\$ 80.000
Material de laboratorio	\$ 200.000

<i>Total</i>	\$	21.584.353
<i>Amortización</i>	\$	4.316.871

### B. Costos

Dentro del flujo de caja, la sumatoria de los costos de producción, administrativos y de ventas, fueron el total de los costos del proyecto, los cuales se proyectaron a 5 años con el Índice de Precios al Consumidor (IPC) e Índice de Precios al Productor (IPP). Estos fueron tomados de la plataforma digital de la entidad bancaria Bancolombia y se presentan en la Tabla 49. Todos los costos se definen en el Anexo 15.

**Tabla 49.** Índice de Precios al Consumidor (IPC) e Índice de Precios al Productor (IPP)

<i>Año</i>	<i>IPC</i>	<i>IPP</i>
2017	3,2%	3,4%
2018	3,2%	3,4%
2019	3,2%	3,4%
2020	3,4%	3,4%
2021	3,2%	3,4%

*Fuente: Bancolombia*

### C. Ingresos

Los ingresos se calcularon a partir del lodo aprovechable en base húmeda con las tres alternativas planteadas (recuperación del coagulante, en compostaje y como materia prima para hacer ladrillos). En la Tabla 50 se presentan los ingresos, diciendo que producir un kg de lodo es de \$254, lo que resulta económicamente viable. Adicionalmente, la empresa gasta alrededor de \$15.000.000/mes en alúmina y con el proyecto se reduciría a \$6.666.660/mes.

**Tabla 50.** Ingreso del lodo en base húmeda aprovechado con las tres alternativas

	2017	2018	2019	2020	2021
Total Lodo (Kg)	1069841	1104075,91	1139406,34	1178146,16	1215846,83
Costo Total	\$ 271.507.436	\$ 280.708.689	\$ 290.221.824	\$ 300.089.366	\$ 310.259.368
Costo unitario por kg de lodo	\$ 254	\$ 254	\$ 255	\$ 255	\$ 255



Utilidad	35%	37%	39%	41%	43%
Precio de Venta	\$ 343	\$ 348	\$ 354	\$ 359	\$ 365
Ingresos	\$ 366.535.039	\$ 384.570.904	\$ 403.408.336	\$ 423.126.006	\$ 443.670.896

#### D. Valor de desecho

Se tomaron los activos fijos depreciables para el valor de desecho (ver Tabla 51), luego que al término de la vida útil de los equipos se puede recuperar cierto valor por su venta. En la Tabla 52 se determina dicho valor, que es de \$ 14.833.618.

**Tabla 51.** Activos fijos depreciables

Nombre Activo	Valor Adquisición	Depreciación Acumulada	Valor Libros	Valor Comercial
Activos Fijos Depreciables	12.644.578	1.708.557	10.936.021	16.841.472
	<i>Total</i>		10.936.021	16.841.472

**Tabla 52.** Valor de desecho del proyecto

<i>Valor De Desecho</i>	
+ Valor Comercial	\$ 16.841.472
- Valor en Libros	\$ 10.936.021
= Utilidad antes de Impuesto	\$ 5.905.451
- Impuesto Renta (34%)	\$ 2.007.853
= Utilidad después de Impuesto	\$ 3.897.598
+ Valor en Libros	\$ 10.936.021
<i>Valor de Desecho</i>	\$ 14.833.618

## E. Flujo de Caja

Finalmente, en la Tabla 53 se obtiene el flujo de caja a través de los datos financieros obtenidos.

**Tabla 53. Resultados del flujo de caja**

CONCEPTO	MOMENTO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
		2017	2018	2019	2020	2021
<i>Ingresos</i>		\$ 366.535.039	\$ 384.570.904	\$ 403.408.336	\$ 423.126.006	\$ 443.670.896
<i>Costos</i>		\$ 271.507.436	\$ 280.708.689	\$ 290.221.824	\$ 300.089.366	\$ 310.259.368
<i>Depreciación</i>		\$ 1.708.557	\$ 1.708.557	\$ 1.708.557	\$ 1.708.557	\$ 1.708.557
<i>Amortización</i>		\$ 4.316.871	\$ 4.316.871	\$ 4.316.871	\$ 4.316.871	\$ 4.316.871
<b>UTILIDAD ANTES IMPUESTO</b>		\$ 89.002.175	\$ 97.836.787	\$ 107.161.083	\$ 117.011.212	\$ 127.386.100
<i>Impuesto de renta (34%)</i>		\$ 30.260.739	\$ 33.264.508	\$ 36.434.768	\$ 39.783.812	\$ 43.311.274
<b>UTILIDAD DESPUÉS IMPUESTO</b>		\$ 58.741.435	\$ 64.572.279	\$ 70.726.315	\$ 77.227.400	\$ 84.074.826
<i>Depreciación</i>		\$ 1.708.557	\$ 1.708.557	\$ 1.708.557	\$ 1.708.557	\$ 1.708.557
<i>Amortización</i>		\$ 4.316.871	\$ 4.316.871	\$ 4.316.871	\$ 4.316.871	\$ 4.316.871
<i>Inversiones</i>	\$ 34.228.931					
<i>Valor de desecho</i>						\$ 14.833.618
<b>BENEFICIOS NETOS</b>	-\$ 34.228.931	\$ 64.766.863	\$ 70.597.707	\$ 76.751.743	\$ 83.252.828	\$ 104.933.872
<b>VPN</b>				\$47.975.454,24		
<b>TIR</b>				197%		

Específicamente, el cálculo de los indicadores financieros en el proyecto demostró la viabilidad del mismo. En cuanto al VPN, al tomar un valor positivo refleja que el proyecto no genera pérdidas a futuro, sino por el contrario ganancias, lo que quiere decir que se puede ejecutar el reúso de los lodos, dando ingresos adicionales a la E.A.F. S.A.S. E.S.P.

De otro lado, donde la TIR es muy superior, que aunque es mayor al 12% (es la Tasa Interna de Oportunidad - TIO) ya se eleva exageradamente ( Olaya (2008); Rozo & Suta (2011), pero la razón se debe a que se tomaron solo las inversiones desde un punto evaluativo y no de formulación, es decir, no se tuvieron en cuenta estructuras, equipos y obras civiles e hidráulicas de gran tamaño, sino por el contrario, está fundamentado en la línea del estudio investigativo a una escala piloto y de laboratorio.

## 9.2. ESTUDIO AMBIENTAL

La estrecha relación de la evaluación de los impactos y efectos permitió obtener información específica de antes y después de la implementación de las alternativas de uso de los lodos en la E.A.F. S.A.S. E.S.P. y el municipio en general. En la Tabla 54, se organiza los componentes que se evalúan.

**Tabla 54.** Componentes y factores evaluados en el proyecto

<i>Componentes</i>	<i>Factores</i>
<i>Agua</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aguas superficiales: Los lodos pueden afectar cuerpos loticos y lenticos aledaños al acueducto de Faca, por la fitotoxicidad del <math>Al^{+3}</math>.</li> <li>2. Aguas subterráneas: acuíferos dentro del área objeto de estudio y de influencia en el municipio de Faca, pueden ser afectados por la infiltración de lixiviados de aluminio y hierro provenientes de los lodos.</li> <li>3. Calidad del Agua: Afectaciones de las propiedades físico – químicas tanto de las aguas subterráneas como superficiales por contaminación microbiana (agua superficial) y química.</li> </ol>
<i>Aire</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calidad del aire: Se mira a partir del material particulado del lodo.</li> <li>2. Olores y gases emitidos a la atmósfera durante el proceso de lavado de filtros, sedimentadores y planta en general.</li> </ol>

<i>Suelo</i>	1. Calidad del suelo: Erosión de las áreas, salinización y cambio de las propiedades físico-químicas sí el lodo se aplica directamente, ya que acidifica los suelos
<i>Biótico</i>	1. Flora: Terrestre, acuática, diversidad y abundancia de especies. En general los lodos de la empresa sin ningún manejo, alteraran la disponibilidad de nutrientes de las plantas, causando un cambio en las condiciones de estado del ecosistema. 2. Fauna: Terrestre, acuática, diversidad y abundancia de especies
<i>Paisaje</i>	1. Alteración en los drenajes naturales por altos contenidos de sedimentos acumulados.

Posteriormente, identificados los componentes, para este caso particular se realizó una metodología de evaluación, donde se hizo partícipe dos clases de matrices, las cuales fueron la de Leopold y una técnica combinada, que es considerada en el libro de *Criterios para la Elaboración de Estudios de impacto Ambiental de Reinoso* (2014).

Es así, que se utiliza parte de los indicadores propuestos por la metodología de Leopold, con algunas modificaciones, para considerarlos adaptables a las condiciones de la ecología, la contaminación ambiental por cada uno de los factores (agua, aire, suelo, paisaje y socio – económico) y los aspectos particulares del proyecto, para así, hacer la medición y valoración lo más representativa y cercana a la realidad en el manejo y disposición final de los lodos

En relación a la metodología combinada se establece que la identificación de impactos y efectos de manera correlacional entre componentes y factores (escogidos de la metodología de Leopold), se posicionan en la parte vertical izquierda, en condición con la significancia de impactos (metodología combinada) que se destaca característicamente según su *Naturaleza, Intensidad (I), Carácter, Extensión (EX), Persistencia (PE), Recuperabilidad (MC), Acumulación (AC), Sinergia (SI), Momento (MO), Efecto (EF) y Periodicidad (PR)*.

La aplicación de esta metodología potencializa la valoración de los impactos y efectos producidos por los lodos de alúmina del acueducto de Facatativá. De tal manera, esta matriz (Ver [Anexo 16](#)), admite identificar cualitativamente los impactos y efectos, donde integra una

proporción directa con la ponderación cuantitativa, mediante valores conferidos individualmente, y que se especifican seguidamente de acuerdo a una escala de colores, identificados con una apreciación cualitativa y cuantitativa (los impactos y efectos evaluados en cada una de sus clasificaciones, podrá tomar una cuantificación mayor a 0 en más de una de sus subclasificaciones).

<i>Valor de Impactos</i>	
<i>Valoración Cuantitativa</i>	<i>Valoración Cualitativa</i>
0	Nulo
1	Bajo
2	Medio
4	Alto
6	Muy alto

Respectivamente, la evaluación de impactos y efectos se detallaron por cada componente, es decir se estructuró una matriz correspondiente a cada uno. En consecuencia, para la valoración total por cada componente, se calcula la sumatoria de cada impacto de manera vertical para luego ser sumada en su totalidad. Esta toma los siguientes colores y valoración cualitativa y cuantitativa:

Significatividad DE IMPACTOS SUBTOTALES POR COMPONENTE	
Valoración Cuantitativa	Valoración Cualitativa
0	Impacto No Significativo
1 Y 6	Impacto Bajo
7 Y 17	Impacto Moderado
$\geq 18$	Impacto Relevante

La valoración cualitativa y cuantitativa, sin embargo presentan un cierto grado de subjetividad, pero de lo cual, se trató de reducir mediante la revisión detallada de conceptos y la total claridad de las características e importancia del impacto.

Consecuente a la matriz de impactos, se argumenta que es necesario implementar las alternativas de reúso de los fangos, luego que sin un manejo adecuado se está sobrepasando la capacidad de asimilación de los ecosistemas circundantes de la empresa de manera relevante, donde a futuro no generarían un beneficio, sino por el contrario aumentos en los costos de potabilización, ya que el agua cruda puede llegar con turbiedades mayores, teniéndolo que asumir la E.A.F. S.A.S. E.S.P. como un costo externo marginal (Boada, 2004).

## 10. CONCLUSIONES

De las alternativas evaluadas la que resultó más viable fue la de implementar el lodo como compostaje, debido a que la germinación de semillas en las pruebas experimentales fueron mayores que la de la turba que era el sustrato control.

Recuperar el sulfato de aluminio de los lodos mediante vía ácida es una alternativa para usarlo como coadyuvante del coagulante comercial, reduciendo costos y el volumen de los fangos, sin embargo presenta una limitación y es la alta concentración de aluminio residual restante.

El lodo como materia prima en el uso de unidades de mampostería no es tan significativo en proporción másica, pero ayuda a generar menos impactos utilizándolo como mineral de ladrillos, generando actividades más sostenibles con el ambiente.

Evaluar diferentes alternativas de uso de los lodos contribuye a complementar estudios antecedentes realizados para generar formulaciones argumentativas y viables de las propuestas establecidas a condiciones reales del sistema de manejo integral de lodos en la E.A.F. S.A.S. E.S.P.

Implementar el lodo de alumbre, no como desecho, sino como un residuo aprovechable contribuye a internalizar las externalidades ocasionadas por el mal manejo de estos fangos, generando beneficios a la empresa y al ambiente.



## 11. RECOMENDACIONES

El secado de los lodos debe ser complementado con un lecho de secado, ya que solo con el efecto lupa no se secan en un tiempo óptimo, luego que la temperatura media anual en la cabecera del municipio de Facatativá es de 14,0 °C y fluctuaciones entre los 22 °C en los días más calurosos y 0 °C o menos en las noches, generando una temperatura máxima promedio de 14,7 °C y una mínima promedio de 9,6 °C (Gómez, 2003), lo que dificulta la completa deshidratación de los lodos.

Debido a que en el proceso de espesamiento de los lodos se obtiene un sobrenadante de agua clarificada, es importante determinar las características físico – químicas, biológicas y microbiológicas de la misma, para establecer las condiciones técnicas de ser reutilizada, y así estudiar la posibilidad de recircular esta agua para contribuir a la minimización de pérdidas de la misma, lo que contribuirá a ser utilizada por la comunidad, representando un beneficio económico y ambiental para la empresa y el municipio.

Realizar pruebas microbiológicas mucho más exhaustivas, debido a que se podrían encontrar microorganismos potenciales en la biorremediación de suelos y agua, especialmente la bacteria del género *Bacillus spp.*

Implementar pruebas *in – situ* en el vivero de la E.A.F. S.A.S. E.S.P. con diferentes tipos de semillas, para garantizar el comportamiento de los lodos de manera más real, debido a que no todas las semillas requieren los mismos nutrientes y las condiciones ambientales son diversas para cada género.

Formular e involucrar en la viabilidad financiera y ambiental los criterios de diseño a una escala real de cada una de las propuestas planteadas, para conocer de manera detallada la magnitud del costo – beneficio y los impactos ambientales, sí se llegara a implementar las alternativas de disposición final en la E.A.F. S.A.S. E.S.P.

Es conveniente desarrollar la prueba de resistencia a la compresión de las unidades de mampostería y así ser comparada con la Norma Técnica Colombiana – NTC 4205, lo que generaría un resultado más completo y unánime en cuanto a la viabilidad de poder implementar el lodo de la E.A.F. S.A.S. E.S.P. como materia prima en módulos cerámicos.

Para un estudio posterior de los lodos en la PTAP *El Gatillo* de la E.A.F. S.A.S. E.S.P., es recomendable implementar un desagüe por gravedad en los sedimentadores, con una válvula de apertura, para que sea mucho más simple obtener estos residuos de cada uno de los decantadores, y así mismo, obtener un muestreo compuesto, lo que conllevará a tener mucha más representatividad de la composición de los fangos y su uso ulterior.

Luego de implementar el diseño establecido por el profesional de agua, de la planta de tratamiento de lodos, se sugiere que periódicamente, según las temporadas secas y lluviosas, se realice la caracterización de los lodos obtenidos, así como la cuantificación práctica procedimental de los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACSAM Consultores. (2016). *Estudios de Evaluación, Factibilidad y Diseños Definitivos del Sistema Regional de Agua Potable Esmeraldas*. Esmeraldas, Ecuador.
- Afanador, N., & Guerrero, G. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 43-58.
- Ahmad, T., Ahmad, K., & Alam, M. (2016). Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. *Journal of Cleaner Production*, 1-13.
- Ahmad, T., Ahmad, K., Ahad, A., & Alam, M. (2016). Characterization of water treatment sludge and its reuse as coagulant. *Journal of Environmental Management*, 606-611.
- Aquihuatl, M. d. (2004). *Manual de prácticas de laboratorio de microbiología general*. Iztapalapa, México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Arias, E., & Piñeros, P. (2008). *Aislamiento e identificación de hongos filamentosos de muestras de suelo de los páramos de Guasca y Cruz Verde*. Bogotá, D.C.: Universidad Javeriana.
- Becton & Dickinson. (2005). *Patrón de turbidez BBL preparado - McFarland Turbidity Standard N° 0.5*. Nueva Jersey: Becton, Dickinson and Company.
- Becton & Dickinson. (2016). *BD Sistemas de Identificación BBL Crystal - Equipo para la identificación de bacterias gram-positivas*. Nueva Jersey: Becton, Dickinson and Company.
- Boada, A. (2004). *Las empresas y el medio ambiente: un enfoque de sostenibilidad*. Bogotá, D.C.: Universidad Externado de Colombia.
- Builes, S. (2010). *Monografía - Tratamiento y adecuada disposición de lodos domésticos e industriales*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Calvo, L., Otero, M., Morán, A., & García, A. (2001). Upgrading sewage sludges for adsorbent preparation by different treatments. *Bioresource Technology*, 143-148.
- Cancino, N. S., & Vargas, M. V. (2015). *Metodología para el dimensionamiento de la unidad de espesamiento de lodos en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable*. Bogotá, D.C.: Universidad Javeriana.

- Caniani, D., Masi, S., Mancini, I. M., & Trulli, E. (2013). Innovative reuse of drinking water sludge in geo-environmental applications. *Waste Management*, 1461-1468.
- CAR. (2008). *Plan de Manejo Ambiental de agua subterránea en la sabana de Bogotá y Zona Crítica*. Bogotá, D.C.: CAR.
- Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación*. Lima: SEDAPAL.
- Carpio, C., Vladimir, A., & Ruiz, R. (2016). *Diseño de un proceso químico para la recuperación de aluminio contenido en los lodos provenientes de la Planta Potabilizadora de Agua Las Pavas*. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Carranza, E. T. (2016). *Reutilización de aguas y lodos residuales*. Obtenido de BVSDE: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>
- Carvajalino, G., & Hernández, J. (2014). *Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques H-10 utilizados en el municipio de Ocaña*. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Cerón, O., Millán, S., Espejel, F., Rodríguez, A., & Ramírez, R. (2007). Aplicación de lodos de Plantas Potabilizadoras para elaborar materiales de construcción. *Instituto de Ingeniería, UNAM*, 1-11.
- Chaparro, T. (2012). *FiME*. Cajicá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Cheng, W. P., Fu, C. H., Chen, P. H., & Yu, R. F. (2012). Dynamics of aluminum leaching from water purification sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 149-155.
- CINARA & IRC. (1999). *Filtración en Múltiples Etapas: Tecnología innovativa para el tratamiento de agua*. Santiago de Cali.
- Collard, M., Teychené, B., & Lemée, L. (2016). Comparison of three different wastewater sludge and their respective drying processes: Solar, thermal and reed beds – Impact on organic matter characteristics. *Journal of Environmental Management*, 760-767.
- Connors, K. (1981). *Curso de Análisis Farmacéutico*. Barcelona: Reverte.
- CORPOICA; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2007). *Guía Tecnológica para el Manejo Integral del Sistema Productivo de la Cana Panelera*. Bogotá, D.C.: CORPOICA.

- Cote, C. (2006). *Aislamiento, Identificación Bioquímica y Pruebas de Cloro Resistencia in vitro a Cepas Nativas de Coliformes Totales y E.Coli obtenidas en la red de distribución del Acueducto de Bogotá*. Bogotá, D.C.: Universidad Javeriana.
- Cuadra, C. d. (1992). *Germinación, Latencia y Dormición de las Semillas: Dormición en las avenas locas*. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación .
- Dassanayake, K., Jayasinghe, G., Surapaneni, A., & Hetherington, C. (2015). A review on alum sludge reuse with special reference to agricultural applications and future challenges. *Waste Management*, 321-335.
- Dinámica de Fluidos. (s.f.). Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2496/Capitulo3.pdf>
- Donado, R. (2013). *Plan de Gestión para Lodos generados en la PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los Llanos en el departamento del Meta*. Bogotá, D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- E.A.F. S.A.S. E.S.P. (2016). *Reseña histórica*. Recuperado el 02 de Marzo de 2017, de Empresa Aguas de Facatativa: <http://www.acueductofacatativa.com/#inicio>
- EPA. (1994). *A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule*. Washington, D.C.: EPA.
- Escobar, D. P. (2009). *Determinación de la acidez intercambiable (Al+3+H+) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua*. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano.
- Fernández, G. R. (2003). *Manejo de lodos producidos en la Planta de Tratamiento de Agua Potable, Planta II, del municipio de Cartago, Valle*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Ferrero, M., & Chiotti, O. (1999). Optimización. En N. Scenna, *Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos* (págs. 435-495).
- Galindo, V. (2016). *Descripción proyecto "Construcción Sistema de Tratamiento de Lodos y Reducción de Pérdidas de Agua Potable de la PTAP Gatillo del Municipio de Facatativá, Cundinamarca"*. Facatativá: E.A.F. S.A.S. E.S.P.

- Gallo, J., & Uribe, J. (2003). *Reutilización de lodos de Planta de Potabilización en el tratamiento de aguas residuales*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- García, A. (1975). Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de agua de los ladrillos (H2T 2/75c). *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 97-100.
- García, C. O., Farrera, M. P., Paradela, T. R., & Ramírez, E. (2013). Viabilidad y germinación de semillas de tres especies arbóreas nativas de la selva tropical, Chiapas, México. *Polibotánica*, 117-127.
- García, M., & Obregón, C. (2016). *Protocolo para la determinación de sólidos sedimentables*. Guajira: ICONTEC.
- García, N. O. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 51-58.
- Gómez, A. J. (2003). *Plantas medicinales en los jardines de las veredas Mancilla, La Tribuna, Pueblo Viejo y Tierra Morada (Facatativá, Cundinamarca)*. Bogotá, D.C.: Universidad Javeriana.
- González, M., & Niño, K. (2006). *Alternativas de mejoramiento de la calidad del agua en las fuentes de abastecimiento para la optimización de las plantas de potabilización de los municipios pertenecientes a la Cuenca Ubaté - Suárez*. Bogotá, D.C.: Universidad de la Salle.
- Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares . (2003). *Manejo y Evaluación de la Porquinaza mediante Procesos de Compostación*. Medellín: CORANTIOQUIA.
- Guamán, M., & Ochoa, L. (2016). *Aislamiento y selección de hongos potencialmente micorrízicos en seis especies de orquídeas nativas del Cerro Abuga en la Provincia del Cañar*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Hassan, K., Fukushi, K., Turikuzzaman, K., & Moniruzzaman, S. (2014). Effects of using arsenic-iron sludge wastes in brick making. *Waste Management*, 1072-1078.
- Hernández, M. L., Ruiz, M. G., & Salinas, E. S. (1995). Propuesta de manejo de los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de la ciudad industrial del Valle de Cuernavaca, Estado de Morelos, México. *Contaminación Ambiental*, 105-115.

- Holguín, S., & Zaxarovich, G. (2009). *Métodos químicos y fotométricos de análisis*. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- ICONTEC, Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Norma Técnica Colombiana - NTC 4205: Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de Mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y Bloques Cerámicos*. Bogotá, D.C.: ICONTEC, Ministerio de Desarrollo Económico.
- IDEAM. (2007). *Sólidos Suspendidos Totales en Agua Secados a 103 - 105 °C*. Bogotá, D.C.: IDEAM.
- IGAC. (2017). *Consideraciones Generales para Interpretar Análisis Químicos de Suelos*. Bogotá, D.C.: IGAC - Subdirección de Agrología: Laboratorio Nacional de Suelos.
- Instituto de Salud Pública de Chile. (2003). *Determinación de humedad*. Santiago de Chile: Instituto de Salud Pública de Chile.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2001). *Manual de Procedimientos para el Control Microbiológico de Alimentos*. Asunción, Paraguay: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Jácome, L. E., Durán, M. H., Castro, C. A., Peña, S. O., González, G. C., & Cendejas, R. F. (2014). Las tinciones básicas en el laboratorio de microbiología. *Medigraphic*, 10-18.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Jiang, J. Q. (2015). The role of coagulation in water treatment. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 36-44.
- Jung, K. W., Hwang, M. J., Park, D. S., & Ahn, K. H. (2016). Comprehensive reuse of drinking water treatment residuals in coagulation and adsorption processes. *Journal of Environmental Management*, 425-434.
- Keeley, J., Jarvis, P., & Judd, S. (2012). An economic assessment of coagulant recovery from water treatment residuals. *Desalination*, 132-137.



- Keeley, J., Smith, A., Judd, S., & Jarvis, P. (2016). Acidified and ultrafiltered recovered coagulants from water treatment works sludge for removal of phosphorus from wastewater. *Water Research*, 380-388.
- Leal, J. A., Bedoya, D. F., & Lozada, P. T. (2013). Evaluación del potencial de aplicación de biosólidos higienizados en el cultivo de rábano. *Ciencias del Suelo*, 155-164.
- Limón, J. (2013). *Los lodos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, ¿Problema o Recurso?* Guadalajara: AyMA.
- Lothar, M. (1999). *Reducción y disposición final de lodos, incineración, relleno, disposición en el terreno*. Sao Paulo: Compañía Estatal de Tecnología de Saneamiento Básico y Defensa del Medio Ambiente (CETESB).
- Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & García, M. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 72-82.
- Mast Group Ltda. (2011a). *Rose Bengal Chloramphenicol Agar*. Virginia: Mast Group Ltd.
- Mast Group Ltda. (2011b). *Oxytetracycline Glucose Yeast Extract - OGYE*. Virginia: Mast Group Ltda.
- MAVDT. (2002). *Formulación de Planes de Pretratamiento de Efluentes Industriales*. Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000: Título C - Sistemas de potabilización*. Bogota, D.C.: Ministerio de Desarrollo Económico.
- Ministerio de la Protección Social; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Resolución 2115 de 2007*. Bogotá, D.C.: Ministerio de la Protección Social; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2014). *Decreto 1287 de 2014*. Bogota, D.C.: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Proyectos de Tratamiento de agua Residuales Domésticas Municipales*. Bogotá, D.C.: Ministerio del Medio Ambiente.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Sistemas de Acueducto*. Bogotá.
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C., & Escobar, J. C. (2011). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. *Revista EIA*, 137-148.
- Moreira, N. B., Nastro, M., Vay, C., Famiglietti, Á., & Rodríguez, C. H. (2015). Actividad in vitro de ampicilina-ceftriaxona frente a aislamientos de *Enterococcus faecalis* recuperados de infecciones invasivas. *Revista Argentina de Microbiología*, 57-61.
- Muñoz, M. (2016). *Propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Starwater como materia prima en la fabricación de ladrillo*. Bogotá, D.C.: Universidad de América.
- Nacheva, P., & Soriano, E. (2009). *Uso de un producto biotecnológico en el tratamiento aerobio de aguas residuales*. México, D.F.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Núñez, J., & Peña, M. (2011). *Recuperación de Sulfato de Aluminio a partir de lodos generados en la Planta de Potabilización de la Empresa Aguas de Cartagena S.A. E.S.P. y Estudio de la Viabilidad Económica de su reutilización como coagulante*. Cartagena D.T y C: Universidad de Cartagena.
- Okuda, T., Nishijima, W., Sugimoto, M., Saka, N., & Nakai, S. (2014). Removal of coagulant aluminum from water treatment residuals by acid. *Water Research*, 75-81.
- Olaya, D. (2008). La Tasa Interna de Oportunidad - TIO - y la creación de Empresas. *Revista del Instituto Internacional de Costos*, 89-101.
- Olaya, D., & Muñoz, D. (2006). *Optimización de los modelos compactos de potabilización de agua y tratamiento de agua y tratamiento de agua residual doméstica de la Compañía Acuaplantías Ingeniería LTDA*. Bogotá, D.C.: Universidad de La Salle.
- Olivas, E. (2012). *Manual de Prácticas - Laboratorio de Microbiología*. Juárez, México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Pascual, M., & Calderón, V. (1999). *Microbiología Alimentaria Metodología Analítica para Alimentos y Bebidas*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Pascual, M., & Calderón, V. (1999). *Microbiología Alimentaria: Metodología Analítica para Alimentos y Bebidas*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Pasterán, F., & Galas, M. (2008). *Manual de Procedimientos: Sensibilidad a los antimicrobianos en Salmonella, Shigella y E. coli*. Argentina: Centro Regional de Referencia WHO-Global Salm Surv para América del Sur.
- Pérez, F., & Pita, J. M. (2012). *Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Pérez, I., Ayala, Ó., González, V., Carrillo, J., Peña, A., & García, G. (2008). Indicadores morfológicos y fisiológicos del deterioro de semillas de tomate de cáscara. *Agrociencia*, 891-901.
- Perilla, J. (2015). *Estrategias para el reusó de los lodos en la zona dos de la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá y plantas de tratamiento de aguas potables y residuales*. Bogotá, D.C.: Universidad Militar Nueva Granada.
- Prado, A., Rodríguez, G., Figueroa, I., & Shirai, K. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio. Microbiología de los Alimentos*. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Raigosa, M. (2012). *Evaluación de alternativas para el manejo de lodos provenientes de las Plantas de Potabilización de agua de los municipios del Departamento de Risaralda mediante el análisis costo-beneficio*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Rangel, J., Juárez, J., García, E., Fernández, M., Rodríguez, C., & Alvarado, E. (2011). Oleorresina de jícama y calidad de semilla de frijol infestada con *Acanthoscelides obtectus* Say. *Agronomía Mesoamericana*, 109-116.
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación-flotación de una planta de tratamiento de agua potable*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

- Rice, E., R.B., B., dC, E., & Clesceri, L. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (22 ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation.
- Rodríguez, M., & Chico, J. (2013). Efecto antagónico in vitro de *Clonostachys rosea* sobre *Botrytis cinerea* procedente de cultivos de *Vitis vinífera*. *Rebiol*, 42-49.
- Rojo, J., Sierra, J., Gómez, A., & Restrepo, L. (2012). Estandarización de métodos de laboratorio para el análisis de viabilidad en semillas de especies forrajeras. *Investigación Pecuaria*, 52-64.
- Romero, J. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseo*. Bogotá, D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rosas, I. (2015). *Identificación y Caracterización de Microorganismos con resistencia a compuestos mercuriales*. México D. F.: CIEMAD.
- Rozo, L., & Suta, I. (2011). *Desarrollo de la ingeniería básica para el aprovechamiento de los residuos de la planta "El Gatillo" de la EAOC SAS ESP*. Bogotá, D.C.: Universidad de América.
- Ruiz, G. (2016). *Caracterización microbiológica y mantenimiento de dos cepas de microalgas para la producción de complemento alimenticio, lípidos y otros productos de valor agregado*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional-Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología.
- Saldarriaga, J. (1998). *Hidráulica de Tuberías*. Bogotá, Colombia: McGraw - Hill Interamericana S.A.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. d. (2010). *Metodología de la Investigación* (Quinta ed.). México: McGrawHill.
- Sánchez, A. (1994). La rentabilidad económica y financiera de la gran empresa española. Análisis de los factores determinantes. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, 159-179.

- Sandoval, L., Martín, A., Piña, M., & Montellano, L. (2005). *Estudio piloto para reducir el volumen de lodos de Plantas Potabilizadoras*. Juitepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Sapag, N. (2007). *Proyectos de Inversión: Formulación y Evaluación*. México: Pearson Educacion.
- Sapag, N., & Sapag, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos* (Quinta ed.). Bogotá, D.C.: McGraw-Hill.
- Scudiere, D., Shoemaker, R., Paul, K., Monks, A., Tierney, S., Nofziger, T., . . . Boyd, M. (1988). Evaluation of a Soluble Tetrazolium/Formazan Assay for Cell Growth and Drug Sensitivity in Culture Using Human and Other Tumor Cell Lines. *Cancer Research*, 4827-4833.
- Secades, V. P. (1990). Control de Calidad. En I. C. (AyA), *Manual de Tratamiento de Agua* (págs. 248-282). San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).
- Secretaría de la Función Pública de México. (2016). *Guía para la Optimización, Estandarización y Mejora Continua de Procesos*. México, D.F.: Secretaría de la Función Pública de México.
- Smith, N., & Pierce, C. (1991). *Resolución de problemas de química general*. Barcelona: Reverte.
- Su, Z., Liu, T., Yu, W., Li, X., & Graham, N. J. (2017). Coagulation of surface water: Observations on the significance of biopolymers. *Water Research*, 144-152.
- Tantawy, M. A., & Mohamed, R. (2017). Middle Eocene clay from Goset Abu Khashier: Geological assessment and utilization with drinking water treatment sludge in brick manufacture. *Applied Clay Science*, 114-124.
- Terragno, R., Caffer, M. I., & Binsztein, N. (2007). *Manual de Procedimientos Diagnóstico y caracterización de Shigella spp.* . Buenos Aires: Centro Regional de Referencia del WHO Global Salm Surv.
- Torres, P., Hernández, D., & Paredes, D. (2012). Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. *Ingeniería de Construcción*, 145-154.

- Trujillo, K., Rodríguez, M. T., Cruz, C., & Esparza, F. (2015). Aislamiento de cepas de hongos degradadores de hidrocarburos de un suelo contaminado con petróleo. *Biotecnología y Bioingeniería*, 1.
- UTP. (08 de 2011). *Blog UTP*. Obtenido de Blog UTP: <http://blog.utp.edu.co/docenciaedwin/files/2011/08/Q-dixon.pdf>
- Valls, I. S. (1985). *Medios de Cultivo para Microbiología*. Barcelona: Promociones y Publicaciones Universitarias, S.A.
- Villegas, J., Castaño, J., & Paredes, D. (2005). Recuperación de Sulfato de Aluminio a partir de Lodos generados en Plantas de Potabilización de Agua. *Scientia et Technica Año XI*, 223-228.
- Zhang, Q., Hu, J., Lee, D. J., Chang, Y., & Lee, Y. J. (2017). Sludge treatment: Current research trends. *Bioresource Technology*, 1159-1172.

# ANEXOS



## ANEXO 1

Se presenta en la Tabla 55 el tipo de técnica analítica para los parámetros físico – químicos y el código en el *Standard Methods*, seguidos en el laboratorio de la E.A.F. S.A.S. E.S.P.

**Tabla 55.** Método de referencia para el análisis de parámetros complementarios de las muestras de lodos

Parámetros		Unidades		Método de Referencia	Código en el <i>Standard</i>
<i>Nombre</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Nombre</i>	<i>Símbolo</i>	Analítico	<i>Methods</i>
Potencial de Hidrógeno	pH	Concentración de iones hidronio	[H <sup>+</sup> ]	Potenciométrico/Electrométrico	4500 – H <sup>+</sup>
Sólidos Sedimentables	SS	Mililitros de sólidos por cada litro de agua	ml/L	Volumétrico	2540 – F
Sólidos Disueltos Totales	SDT	Miligramos de sólidos por cada litro de agua	mg/L	Conductimétrico	-
Conductividad Eléctrica	CE	Micro siemens por cada centímetro	μs/cm	Conductimétrico	2510
Temperatura	°T	Grados Celsius	°C	Electrométrico	2550
Aluminio	Al <sup>+3</sup>	Miligramos por litro	mg/L	Fotométrico	-
Hierro	Fe <sup>+3</sup>	Miligramos por litro	mg/L	Fotométrico	-

**Nota:** En los métodos de hierro y aluminio se implementaron los kits spectroquant de laboratorios MERCK®, adaptados para ser realizar lectura en espectrofotómetro.

ANEXO 2

A. En la Tabla 56 se presenta el registro fotográfico de la preparación del material, del agar Rosa de Bengala, agar EMB, agar Nutritivo y la solución salina isotónica al 0,85%.

**Tabla 56.** Registro fotográfico de la preparación de material del banco de diluciones



(a)



(b)

Preparación de 300 ml de agar EMB, Rosa de Bengala y Nutritivo.

Medios servidos (5 cajas de EMB; 5 cajas de Rosa de Bengala; 5 cajas de Nutritivo)



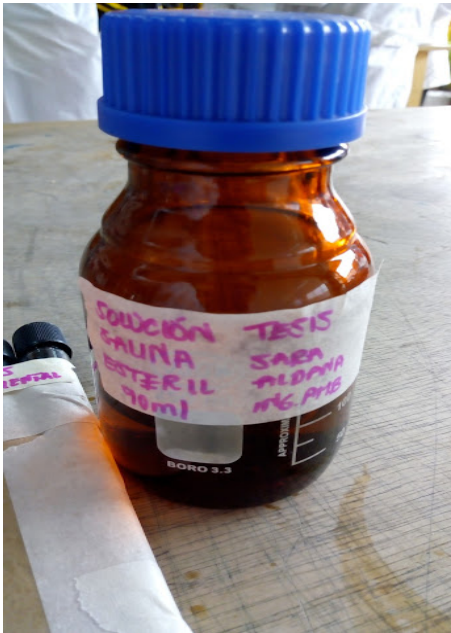
(c)



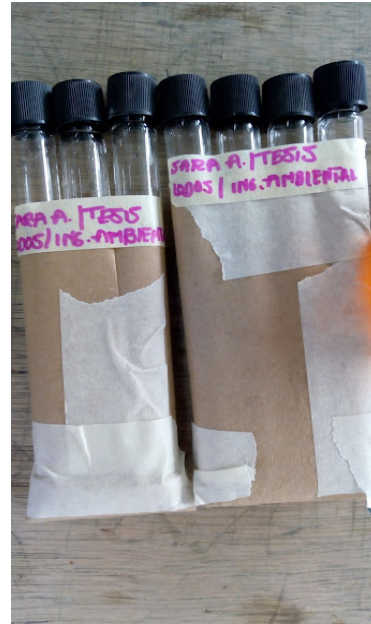
(d)

Medios solidificados

Medios de control



(e)



(f)

Solución salina isotónica al 0,85% estéril (90 ml)

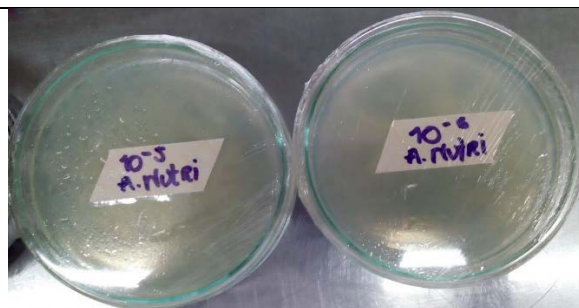
Material estéril para las diluciones



Dilución  $10^{-1}$  y Dilución  $10^{-2}$  (Agar Rosa de Bengala)



Dilución  $10^{-4}$  y Dilución  $10^{-5}$  (Agar EMB)



Dilución  $10^{-5}$  y Dilución  $10^{-6}$  (Agar Nutritivo)

B. En la Tabla 57, se muestra los cálculos realizados para preparar los agares Rosa de Bengala, EMB, Nutritivo y OGYE, así como la solución salina isotónica.

**Tabla 57.** Cálculos de preparación de agares y solución salina (0,85%)

Nombre	Cantidad	Relaciones matemáticas	Total adicionado
Agar EMB	500 ml	$EMB = (500 \text{ ml}) \left( \frac{37,4 \text{ g}}{1000 \text{ ml}} \right)$	18,7 g
Agar Nutritivo	500 ml	$Nutritivo = (500 \text{ ml}) \left( \frac{28 \text{ g}}{1000 \text{ ml}} \right)$	14,0 g
Agar Rosa de Bengala	500 ml	$ROB = (500 \text{ ml}) \left( \frac{15,8 \text{ g}}{500 \text{ ml}} \right)$	15,8 g
Agar extracto de levadura – glucosa – oxitetraciclina (OGYE)	200 ml	$OGYE = (200 \text{ ml}) \left( \frac{37,0 \text{ g}}{1000 \text{ ml}} \right)$	7,4 g
Solución salina isotónica (0,85%)	150 ml	$SS_{0,85\%} = (150 \text{ ml}) \left( \frac{0,85 \text{ ml NaCl}}{100 \text{ ml}} \right)$	1,275 ml NaCl

C. Los componentes y las características de los agares implementados se presentan en la Tabla 58.

**Tabla 58.** Fórmula de los agares implementados en la identificación microbiológica de los lodos




Nombre	Componente	Cantidad del componente g/L	Descripción
Agar Nutritivo	Extracto de carne	1,0	Es un medio de cultivo sólido para el crecimiento de microorganismos poco exigentes. Este pertenece a un grupo de medios simples de la línea de infusiones de carne. Sin embargo, este medio tiene una composición mucho más compuesta, debido a su adición de extracto de levadura que coadyuva y refuerza la capacidad nutritiva en el crecimiento (Valls, 1985).
	Extracto de levadura	2,0	
	Peptona	5,0	
	Cloruro sódico	5,0	
	Agar - agar	15,0	
	pH	7,4	

Agar Eosina y Azul de Metileno (EMB)	<i>Peptona</i>	10,0	Es un medio eficiente para la diferenciación de <i>Escherichia coli</i> y <i>Enterobacter aerogenes</i> , teniendo gran eficiencia en el diagnóstico rápido de <i>Candida albicans</i> , por su crecimiento rápido. Así mismo, presenta alta correlación en la prueba de la coagulasa con estafilococos. Por lo tanto, es un medio que se recomienda para la detección, enumeración y diferenciación de los coliformes (Valls, 1985).
	<i>Lactosa</i>	10,0	
	<i>Fosfato dipotásico</i>	2,0	
	<i>Agar – agar</i>	15,0	
	<i>Eosina amarilla</i>	0,4	
	<i>Azul de metileno</i>	0,065	
	<i>pH</i>	7,1	
Agar Rosa de Bengala Clorafenicol	<i>Mezcla de peptona</i>	5,0	Es un agar selectivo para el aislamiento y enumeración, tanto mohos, como levaduras en muestras ambientales y alimenticias. En este medio se reconoce fácilmente las colonias fúngicas, debido a que el cloranfenicol inhibe las bacterias (Mast Group Ltda, 2011a).
	<i>Glucosa</i>	10,0	
	<i>Fosfato dipotasio</i>	1,0	
	<i>Sulfato de magnesio</i>	0,5	
	<i>Rosa bengala</i>	0,05	
	<i>Agar – agar</i>	12,0	
	<i>pH</i>	7,2	
Agar extracto de levadura – glucosa – oxitetraciclina (OGYE)	<i>Extracto de levadura</i>	5,0	Es un medio selectivo, que al igual que el agar Rosa de Bengala sirve para la enumeración de levaduras y mohos (Pascual & Calderón (1999); Mast Group Ltda (2011b)).
	<i>Dextrosa</i>	20,0	
	<i>Biotina</i>	0,0001	
	<i>Bilis de buey desecada</i>	5,0	
	<i>Oxitetraciclina</i>	100 ml	
	<i>pH</i>	7,0	

## ANEXO 3

La metodología seguida para la identificación de bacterias Gram – Positivas por el Sistema *BBL™ Crystal™*, es la determinada en la Tabla 59.

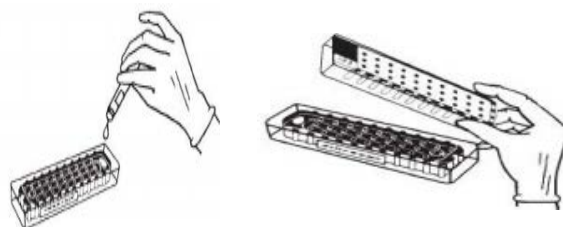
**Tabla 59.** Metodología de identificación de bacterias Gram - Positivas por BBL Crystal

MANEJO DEL SISTEMA (UTILIZACIÓN DEL PANEL E INOCULACIÓN)	
Procedimiento	Demostración gráfica
<p>Las tapas se sacaron de las envolturas y fueron utilizadas en el menor tiempo posible (menor a 1 hora).</p>	
<p>Se tomó unas de las colonias identificadas con un asa estéril, donde posteriormente se puso en suspensión dentro de los tubos de fluido de inóculo.</p>	
<p>A continuación, se tapó el tubo y se agitó vigorosamente, donde la turbidez fue equivalente al patrón de la escala de McFarland N° 0,5<sup>10</sup>.</p>	

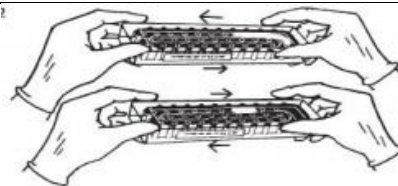
<sup>10</sup> Esta escala fue uno de los primeros métodos para el cálculo de poblaciones bacterianas, lo cual hizo que en 1907 McFarland desarrollará una serie de diluciones de sulfato de bario, con el propósito de estimar el valor de bacterias en soluciones equivalentes en turbidez por conteos en placa (Becton & Dickinson, 2005). De tal manera, una turbidez de 0,5 es aproximadamente  $10^8$  UFC/ml para bacterias de rápido crecimiento (Pasterán & Galas, 2008).



Se vertió la solución preparada del tubo de fluido de inóculo en el área demarcada de la base. Inmediatamente, se sujetó con las dos manos y se balanceó suavemente hasta que los pocillos tuvieron el inóculo disperso.



Adicionalmente, se volvió a mover la base para retornar el exceso del líquido al área demarcada.

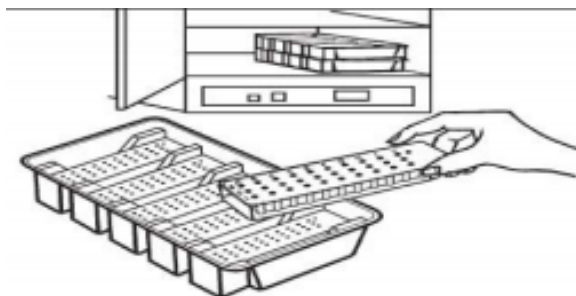


Se alineó la tapa sobre la base y quedó totalmente cerrada.



## INCUBACIÓN

Los paneles sellados e inoculados se pusieron a incubar en bandejas de incubación, en posición boca abajo (ventana grande hacía arriba y la etiqueta hacía abajo) en una incubadora sin CO<sub>2</sub> con 40 – 60% de humedad relativa por un tiempo de 18 – 24 horas<sup>11</sup> a una temperatura de 35 – 37 °C.



## LECTURA<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Sí la lectura de los paneles se realiza exactamente a las 24 horas de incubación se debe leer dentro de 30 minutos después de sacarlos de la incubadora (Becton & Dickinson, 2016).

<sup>12</sup> Los paneles se leyeron boca abajo usando la tabla de reacciones de color presentadas en el Anexo IV.

Las columnas de la E – J se leyeron con luz blanca.

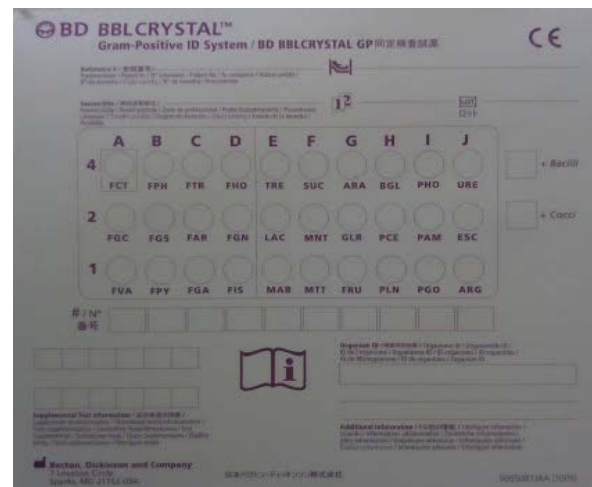


Las columnas de la A – D se leyeron con una lámpara UV, lo cual, es necesario por los substratos fluorescentes que éstos contienen.



### CÁLCULO DEL NÚMERO DE PERFIL

La reacción positiva adoptó un valor de 4, 2, 1 según cada fila por cada reacción, en cambio, las reacciones negativas recibieron un valor de cero (0). En el sistema BBL Crystal los valores positivos son los que se suman en cada columna, para obtener un número de 10 dígitos que es el número de perfil resultante de morfología celular.



A partir del número de perfil obtenido se introduce en el software para obtener la identificación bacteriana.



## ANEXO 4

**Tabla 60.** Colores de interpretación de reacciones del Sistema de Identificación BBL Crystal

<i>Posición en el panel</i>	<i>Código</i>	<i>Positivo</i>	<i>Negativo</i>
4A	FCT	Control negativo de fluorescencia	Control negativo de fluorescencia
2A	FGC	Fluorescencia azul > pocillo FCT	Fluorescencia azul ≤ pocillo FCT
1A	FVA	Fluorescencia azul > pocillo FCT	Fluorescencia azul ≤ pocillo FCT
4B	FPH	Fluorescencia azul > pocillo FCT	Fluorescencia azul ≤ pocillo FCT
2B	FGS	Fluorescencia azul > pocillo FCT	Fluorescencia azul ≤ pocillo FCT
1B	FPY	Fluorescencia azul > pocillo FCT	Fluorescencia azul ≤ pocillo FCT
4C	FTR	Fluorescencia azul > pocillo FCT	Fluorescencia azul ≤ pocillo FCT
2C	FAR	Fluorescencia azul > pocillo FCT	Fluorescencia azul ≤ pocillo FCT
1C	FGA	Fluorescencia azul > pocillo FCT	Fluorescencia azul ≤ pocillo FCT
4D	FHO	Fluorescencia azul > pocillo FCT	Fluorescencia azul ≤ pocillo FCT
2D	FGN	Fluorescencia azul > pocillo FCT	Fluorescencia azul ≤ pocillo FCT
1D	FIS	Fluorescencia azul > pocillo FCT	Fluorescencia azul ≤ pocillo FCT
4E	TRE	Dorado/Amarillo	Naranja/Rojo
2E	LAC	Dorado/Amarillo	Naranja/Rojo
1E	MAB	Dorado/Amarillo	Naranja/Rojo
4F	SUC	Dorado/Amarillo	Naranja/Rojo
2F	MNT	Dorado/Amarillo	Naranja/Rojo
1F	MTT	Dorado/Amarillo	Naranja/Rojo
4G	ARA	Dorado/Amarillo	Naranja/Rojo
2G	GLR	Dorado/Amarillo	Naranja/Rojo
1G	FRU	Dorado/Amarillo	Naranja/Rojo
4H	BGL	Amarillo	Incoloro
2H	PCE	Amarillo	Incoloro
1H	PLN	Amarillo	Incoloro
4I	PHO	Amarillo	Incoloro

---

2I	PAM	Amarillo	Incoloro
1I	PGO	Amarillo	Incoloro
4J	URE	Verde azulado/azul	Amarillo/verde
2J	ESC	Rojo parduzco	Incoloro/café claro
1J	ARG	Púrpura	Amarillo/gris

---

*Nota:* La tabla de identificación de colores se adaptó de Becton & Dickinson (2016).

## ANEXO 5

**Tabla 61.** Valores críticos de cociente  $Q$  de rechazo

	$P=0,90$	$P=0,95$	$P=0,98$	$P=0,99$	$P=0,995$
$n$	$\alpha=0,10$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,02$	$\alpha=0,01$	$\alpha=0,005$
3	0,396	0,941	0,976	0,988	0,994
4	0,679	0,765	0,846	0,889	0,926
5	0,567	0,642	0,729	0,780	0,821
6	0,482	0,560	0,644	0,698	0,740
7	0,434	0,507	0,586	0,637	0,680
8	0,399	0,468	0,543	0,590	0,634
9	0,370	0,437	0,510	0,555	0,598
10	0,349	0,412	0,483	0,527	0,568
11	0,332	0,392	0,460	0,502	0,542
12	0,318	0,376	0,441	0,482	0,522
13	0,305	0,361	0,425	0,465	0,503
14	0,294	0,349	0,411	0,450	0,488
15	0,285	0,338	0,399	0,438	0,475
16	0,277	0,329	0,388	0,426	0,463
18	0,265	0,313	0,370	0,407	0,442
20	0,252	0,300	0,356	0,391	0,425
25	0,230	0,277	0,329	0,362	0,393
30	0,215	0,260	0,309	0,341	0,372

*Nota.* Para el presente trabajo se usa un  $P=0,95$ ;  $n=3$ . Recuperado y adaptado de UTP (2011).

## ANEXO 6

**Tabla 62.** Dosificación de lodo y coagulante por cada tratamiento empleado – rendimiento de recuperación de alúmina

Tratamiento	pH	Jarra	Concentración de lodo	Dosificación de lodo (mg/L)	Concentración de coagulante	Dosificación de coagulante (mg/L)	
<b>PRIMER ENSAYO</b>							
100% Lodo sin acidificar		1	1%	25,07	0,0	0,0	
		2	1%	50,14	0,0	0,0	
		3	1%	75,21	0,0	0,0	
		4	2%	50,14	0,0	0,0	
		5	2%	100,28	0,0	0,0	
		6	2%	150,42	0,0	0,0	
<b>SEGUNDO ENSAYO</b>							
100% Lodo acidificado	1,0	1	1%	25,07	0,0	0,0	
		2	1%	50,14	0,0	0,0	
		3	1%	75,21	0,0	0,0	
		4	2%	50,14	0,0	0,0	
		5	2%	100,28	0,0	0,0	
		6	2%	150,42	0,0	0,0	
	<b>TERCER ENSAYO</b>						
	1,5	1	1%	25,07	0,0	0,0	
		2	1%	50,14	0,0	0,0	
		3	1%	75,21	0,0	0,0	
		4	2%	50,14	0,0	0,0	
		5	2%	100,28	0,0	0,0	
6		2%	150,42	0,0	0,0		
<b>CUARTO ENSAYO</b>							
2,0	1	1%	25,07	0,0	0,0		
	2	1%	50,14	0,0	0,0		

		3	1%	75,21	0,0	0,0
		4	2%	50,14	0,0	0,0
		5	2%	100,28	0,0	0,0
		6	2%	150,42	0,0	0,0
		<i>QUINTO ENSAYO</i>				
		1	1%	25,07	0,0	0,0
		2	1%	50,14	0,0	0,0
		3	1%	75,21	0,0	0,0
		4	2%	50,14	0,0	0,0
	2,5	5	2%	100,28	0,0	0,0
		6	2%	150,42	0,0	0,0
		<i>SEXTO ENSAYO</i>				
		1	1%	25,07	0,0	0,0
		2	1%	50,14	0,0	0,0
	3,0	3	1%	75,21	0,0	0,0
		4	2%	50,14	0,0	0,0
		5	2%	100,28	0,0	0,0
		6	2%	150,42	0,0	0,0
		<i>SÉPTIMO ENSAYO</i>				
		1	2%	20,056	2%	13,32
		2	2%	24,067	2%	15,984
		3	2%	28,078	2%	18,648
		4	2%	30,084	2%	19,98
		5	2%	32,089	2%	21,312
		6	2%	36,100	2%	23,976
		<i>OCTAVO ENSAYO</i>				
		1	2%	28,078	2%	18,648
		2	2%	30,084	2%	19,98
		3	2%	32,089	2%	21,312
		4	2%	36,100	2%	23,976

50% Lodo acidificado/50% Coagulante  
comercial  
1,0

	5	2%	40,112	2%	26,64	
	6	2%	44,123	2%	32,00	
<b>NOVENO ENSAYO</b>						
89% Lodo acidificado/1% Coagulante comercial	1,0	1	2%	63,176	2%	9,324
		2	2%	72,201	2%	10,656
		3	2%	81,227	2%	11,988
		4	2%	90,252	2%	13,32
		5	2%	99,277	2%	14,652
		6	2%	108,302	2%	15,984

**Nota:** Cada uno de los ensayos se realizaron por triplicado

ANEXO 7

Los resultados colorimétricos de los paneles incubados del Sistema BBL Crystal se muestran a continuación de manera seriada en la Tabla 63 y la Tabla 64.

**Tabla 63. Resultados fotográficos del Sistema BBL Crystal para la colonia 2**

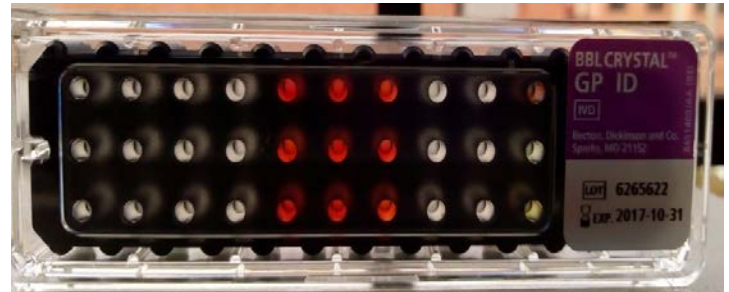
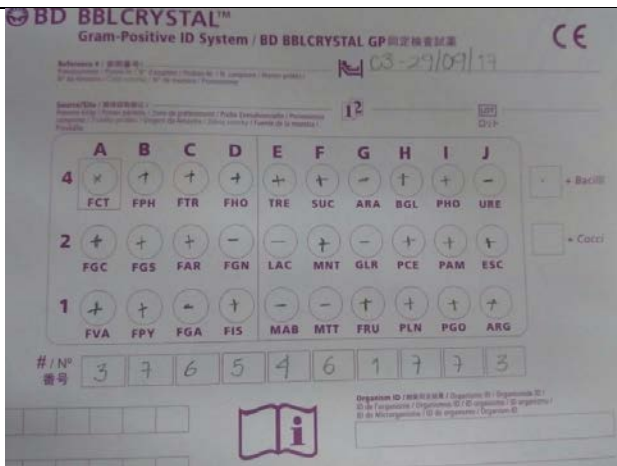
<i>Resultado en el Bloc de informes</i>	<i>Antes de la incubación</i>
<i>Después de la incubación</i>	
<i>Luz Blanca</i>	<i>Luz UV</i>



**Tabla 64.** Resultados fotográficos del Sistema BBL Crystal para la colonia 3

Resultado en el Bloc de informes

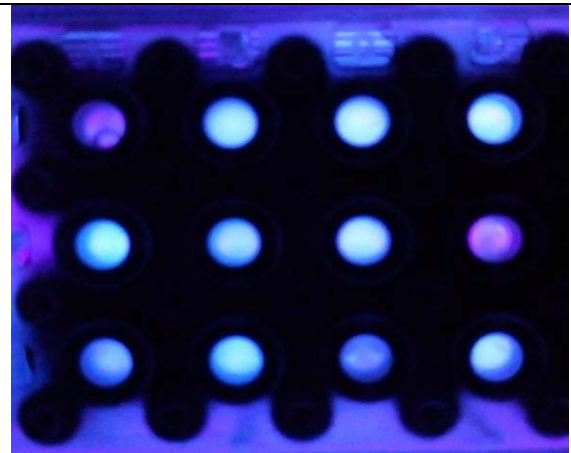
Antes de la incubación



Después de la incubación

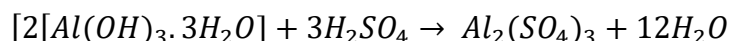
Luz Blanca

Luz UV



## ANEXO 8

Se estableció la relación cuantitativa entre las especies químicas de la siguiente ecuación para pH 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0. En la Tabla 61 se encuentra la masa molar (g/mol) de cada uno de los reactivos y se parte a cuantificar desde el volumen adicionado en los ensayos, tomando el  $H_2SO_4$  al 96%.



**Tabla 65.** Masa molar por las especies que actúan estequiometricamente

$[2[Al(OH)_3 \cdot 3H_2O]$	$3H_2SO_4$	$Al_2(SO_4)_3$	$12H_2O$
264,096 g/mol	294,216 g/mol	342,142 g/mol	24,0192 g/mol

El ácido sulfúrico que está al 96% g/ml se pasó a molaridad [M], como se muestra a continuación:

$$[M]_{H_2SO_4} = \left( \frac{96 \text{ g } H_2SO_4}{100 \text{ ml}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol } H_2SO_4}{98,072 \text{ g } H_2SO_4} \right) \left( \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} \right)$$

$$[M]_{H_2SO_4} = \mathbf{9,78873 \text{ M}}$$

**1. pH: 1,0 – ml de  $H_2SO_4$ : 24,6ml**

A. *Obtención teórica de  $Al_2(SO_4)_3$  en 2L*

$$\checkmark \text{ mol}_{H_2SO_4} = 9,78873 \text{ M} * 0,0246 \text{ L} = \mathbf{0,2408 \text{ mol}_{H_2SO_4}}$$

$$\checkmark \text{ g } Al(OH)_3 = (0,2408 \text{ mol}_{H_2SO_4}) \left( \frac{2 \text{ mol } Al(OH)_3}{3 \text{ mol}_{H_2SO_4}} \right) \left( \frac{132,0482 \text{ g } Al(OH)_3}{1 \text{ mol } Al(OH)_3} \right)$$

$$\text{g } Al(OH)_3 = \mathbf{21,198 \text{ g } Al(OH)_3}$$

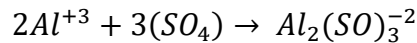
$$\checkmark \text{ g } Al_2(SO_4)_3 = (0,2408 \text{ mol}_{H_2SO_4}) \left( \frac{1 \text{ mol } Al_2(SO_4)_3}{3 \text{ mol}_{H_2SO_4}} \right) \left( \frac{342,142 \text{ g } Al_2(SO_4)_3}{1 \text{ mol } Al_2(SO_4)_3} \right)$$

$$\text{g } Al_2(SO_4)_3 = \mathbf{27,4626 \text{ g } Al_2(SO_4)_3}$$

$$\checkmark \text{ ml } Al_2(SO_4)_3 = 27,4626 \text{ g } Al_2(SO_4)_3 \left( \frac{1 \text{ ml}}{1,332 \text{ g } Al_2(SO_4)_3} \right)$$

$$\boxed{\text{ ml } Al_2(SO_4)_3 = 20,618 \text{ ml } Al_2(SO_4)_3}$$

B. Concentración teórica de aluminio soluble en 2L



$$\checkmark \text{ g } Al^{+3} = 27,4626 \text{ g } Al_2(SO_4)_3 \left( \frac{1 \text{ mol } Al_2(SO_4)_3}{342,142 \text{ g } Al_2(SO_4)_3} \right) \left( \frac{2 \text{ mol } Al^{+3}}{1 \text{ mol } Al_2(SO_4)_3} \right) \left( \frac{26,982 \text{ g } Al^{+3}}{1 \text{ mol } Al^{+3}} \right)$$

$$\text{ g } Al^{+3} = 4,332 \text{ g } Al^{+3}$$

$$\checkmark \left[ \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] Al^{+3} = \left( \frac{4,332 \text{ g } Al^{+3}}{2 \text{ L}} \right) \left( \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g } Al^{+3}} \right)$$

$$\boxed{\left[ \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] Al^{+3} = 2165,7554 \text{ mg/L } Al^{+3}}$$

2. pH: 1,5 – ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 21,2ml

A. Obtención teórica de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> en 2L

$$\checkmark \text{ mol}_{H_2SO_4} = 9,78873 \text{ M} * 0,0212 \text{ L} = 0,2075 \text{ mol}_{H_2SO_4}$$

$$\checkmark \text{ g } Al(OH)_3 = (0,2075 \text{ mol}_{H_2SO_4}) \left( \frac{2 \text{ mol } Al(OH)_3}{3 \text{ mol}_{H_2SO_4}} \right) \left( \frac{132,0482 \text{ g } Al(OH)_3}{1 \text{ mol } Al(OH)_3} \right)$$

$$\text{ g } Al(OH)_3 = 18,267 \text{ g } Al(OH)_3$$

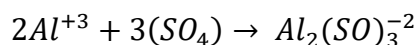
$$\checkmark \text{ g } Al_2(SO_4)_3 = (0,2075 \text{ mol}_{H_2SO_4}) \left( \frac{1 \text{ mol } Al_2(SO_4)_3}{3 \text{ mol}_{H_2SO_4}} \right) \left( \frac{342,142 \text{ g } Al_2(SO_4)_3}{1 \text{ mol } Al_2(SO_4)_3} \right)$$

$$\text{ g } Al_2(SO_4)_3 = 23,665 \text{ g } Al_2(SO_4)_3$$

$$\checkmark \text{ ml } Al_2(SO_4)_3 = 23,665 \text{ g } Al_2(SO_4)_3 \left( \frac{1 \text{ ml}}{1,332 \text{ g } Al_2(SO_4)_3} \right)$$

$$\boxed{\text{ ml } Al_2(SO_4)_3 = 17,7664 \text{ ml } Al_2(SO_4)_3}$$

B. Concentración teórica de aluminio soluble en 2L



$$\checkmark g Al^{+3} = 23,665 g Al_2(SO_4)_3 \left( \frac{1 mol Al_2(SO_4)_3}{342,142 g Al_2(SO_4)_3} \right) \left( \frac{2 mol Al^{+3}}{1 mol Al_2(SO_4)_3} \right) \left( \frac{26,982 g Al^{+3}}{1 mol Al^{+3}} \right)$$

$$g Al^{+3} = 3,7325 g Al^{+3}$$

$$\checkmark \left[ \frac{mg}{L} \right] Al^{+3} = \left( \frac{3,7325 g Al^{+3}}{2L} \right) \left( \frac{1000 mg}{1 g Al^{+3}} \right)$$

$$\boxed{\left[ \frac{mg}{L} \right] Al^{+3} = 1866,1902 mg/L Al^{+3}}$$

### 3. pH: 2,0 – ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 17,0ml

#### A. Obtención teórica de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> en 2L

$$\checkmark mol_{H_2SO_4} = 9,78873 M * 0,0170L = 0,1664 mol_{H_2SO_4}$$

$$\checkmark g Al(OH)_3 = (0,1664 mol_{H_2SO_4}) \left( \frac{2 mol Al(OH)_3}{3 mol_{H_2SO_4}} \right) \left( \frac{132,0482 g Al(OH)_3}{1 mol Al(OH)_3} \right)$$

$$g Al(OH)_3 = 14,649 g Al(OH)_3$$

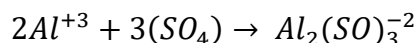
$$\checkmark g Al_2(SO_4)_3 = (0,1664 mol_{H_2SO_4}) \left( \frac{1 mol Al_2(SO_4)_3}{3 mol_{H_2SO_4}} \right) \left( \frac{342,142 g Al_2(SO_4)_3}{1 mol Al_2(SO_4)_3} \right)$$

$$g Al_2(SO_4)_3 = 18,977 g Al_2(SO_4)_3$$

$$\checkmark ml Al_2(SO_4)_3 = 23,665 g Al_2(SO_4)_3 \left( \frac{1 ml}{1,332 g Al_2(SO_4)_3} \right)$$

$$\boxed{ml Al_2(SO_4)_3 = 14,247 ml Al_2(SO_4)_3}$$

#### B. Concentración teórica de aluminio soluble en 2L



$$\checkmark g Al^{+3} = 18,977 g Al_2(SO_4)_3 \left( \frac{1 mol Al_2(SO_4)_3}{342,142 g Al_2(SO_4)_3} \right) \left( \frac{2 mol Al^{+3}}{1 mol Al_2(SO_4)_3} \right) \left( \frac{26,982 g Al^{+3}}{1 mol Al^{+3}} \right)$$

$$g Al^{+3} = 2,993 g Al^{+3}$$

$$\checkmark \left[ \frac{mg}{L} \right] Al^{+3} = \left( \frac{2,993 g Al^{+3}}{2L} \right) \left( \frac{1000mg}{1gAl^{+3}} \right)$$

$$\left[ \frac{mg}{L} \right] Al^{+3} = 1496,564 mg/L Al^{+3}$$

#### 4. pH: 2,5 – ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 15,8ml

A. Obtención teórica de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> en 2L

$$\checkmark mol_{H_2SO_4} = 9,78873 M * 0,0158L = 0,1546 mol_{H_2SO_4}$$

$$\checkmark g Al(OH)_3 = (0,1546 mol_{H_2SO_4}) \left( \frac{2mol Al(OH)_3}{3mol_{H_2SO_4}} \right) \left( \frac{132,0482 g Al(OH)_3}{1mol Al(OH)_3} \right)$$

$$g Al(OH)_3 = 13,615 g Al(OH)_3$$

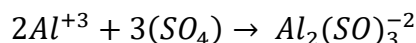
$$\checkmark g Al_2(SO_4)_3 = (0,1546 mol_{H_2SO_4}) \left( \frac{1mol Al_2(SO_4)_3}{3mol_{H_2SO_4}} \right) \left( \frac{342,142g Al_2(SO_4)_3}{1mol Al_2(SO_4)_3} \right)$$

$$g Al_2(SO_4)_3 = 17,632 g Al_2(SO_4)_3$$

$$\checkmark ml Al_2(SO_4)_3 = 17,632 g Al_2(SO_4)_3 \left( \frac{1ml}{1,332g Al_2(SO_4)_3} \right)$$

$$ml Al_2(SO_4)_3 = 13,237ml Al_2(SO_4)_3$$

B. Concentración teórica de aluminio soluble en 2L



$$\checkmark g Al^{+3} = 17,632 g Al_2(SO_4)_3 \left( \frac{1mol Al_2(SO_4)_3}{342,142g Al_2(SO_4)_3} \right) \left( \frac{2mol Al^{+3}}{1mol Al_2(SO_4)_3} \right) \left( \frac{26,982gAl^{+3}}{1mol Al^{+3}} \right)$$

$$g Al^{+3} = 2,781 g Al^{+3}$$

$$\checkmark \left[ \frac{mg}{L} \right] Al^{+3} = \left( \frac{2,781 g Al^{+3}}{2L} \right) \left( \frac{1000mg}{1gAl^{+3}} \right)$$

$$\left[ \frac{mg}{L} \right] Al^{+3} = 1390,495 mg/L Al^{+3}$$

5. pH: 2,5 – ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 13,2ml

C. Obtención teórica de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> en 2L

$$\checkmark \text{ mol}_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 9,78873 \text{ M} * 0,0132\text{L} = \mathbf{0,1292 \text{ mol}_{\text{H}_2\text{SO}_4}}$$

$$\checkmark \text{ g Al(OH)}_3 = (0,1292 \text{ mol}_{\text{H}_2\text{SO}_4}) \left( \frac{2 \text{ mol Al(OH)}_3}{3 \text{ mol}_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \right) \left( \frac{132,0482 \text{ g Al(OH)}_3}{1 \text{ mol Al(OH)}_3} \right)$$

$$\mathbf{\text{g Al(OH)}_3 = 11,375 \text{ g Al(OH)}_3}$$

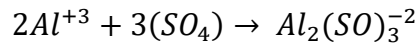
$$\checkmark \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3 = (0,1292 \text{ mol}_{\text{H}_2\text{SO}_4}) \left( \frac{1 \text{ mol Al}_2(\text{SO}_4)_3}{3 \text{ mol}_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \right) \left( \frac{342,142 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3}{1 \text{ mol Al}_2(\text{SO}_4)_3} \right)$$

$$\mathbf{\text{g Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 14,735 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3}$$

$$\checkmark \text{ ml Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 14,735 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3 \left( \frac{1 \text{ ml}}{1,332 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3} \right)$$

$$\mathbf{\text{ml Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 11,0622 \text{ ml Al}_2(\text{SO}_4)_3}$$

D. Concentración teórica de aluminio soluble en 2L




$$\checkmark \text{ g Al}^{+3} = 14,735 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3 \left( \frac{1 \text{ mol Al}_2(\text{SO}_4)_3}{342,142 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3} \right) \left( \frac{2 \text{ mol Al}^{+3}}{1 \text{ mol Al}_2(\text{SO}_4)_3} \right) \left( \frac{26,982 \text{ g Al}^{+3}}{1 \text{ mol Al}^{+3}} \right)$$


$$\mathbf{\text{g Al}^{+3} = 2,324 \text{ g Al}^{+3}}$$

$$\checkmark \left[ \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] \text{Al}^{+3} = \left( \frac{2,324 \text{ g Al}^{+3}}{2\text{L}} \right) \left( \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g Al}^{+3}} \right)$$

$$\mathbf{\left[ \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] \text{Al}^{+3} = 1162,0315 \text{ mg/L Al}^{+3}}$$

ANEXO 9

		<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO – CARACTERIZACIÓN Q-01</b> GESTIÓN AGROLÓGICA														FECHA AAAA-MM-DD 2017-08-31		
		NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO <u>SARA GABRIELA ALDANA GOMEZ</u>										TIPO DE MUESTRA <u>SUELO</u>				No. SOLICITUD <u>2385_1</u>		
		DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN <u>Cundinamarca - Furza</u>																
SUPLEMENTO DE RESULTADOS <input type="checkbox"/> DE FECHA _____			DIRECCIÓN DEL CLIENTE <u>CALLE 9 NO. 8 -71 CASA 47</u>															
No. DE LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	PROFUNDIDAD (cm)	GRANULOMETRÍA			CLASE TEXTURAL	GRANILLA %	RELACION DE pH	pH	ACIDEZ INTERCAMBIABLE cmol(+)/kg	S.A.I. %	SALINIDAD		CARBONATO DE CALCIO		CARBONO ORGÁNICO %	CARBONO TOTAL %	
			ARENA %	LIMO %	ARCILLA %							CE (dSm)	PSI	Cantidad*	Cantidad %			
MQ1-25038	LOTE 1	-	80.0	14.3	25.7	F Ar A	N.A.	1:1	8.4	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	8.33
FÓSFORO DISPONIBLE mg/kg	COMPLEJO DE CAMBIO cmol(+)/kg						S.B. %	ELEMENTOS MENORES mg/kg					mg/kg		NITRÓGENO TOTAL %	AZÚCARES TOTAL %		
	Ca	Ca	Mg	K	Na	B.T.		Mn	Fe	Zn	Cu	S	S	NAH			NAO3	
54.05	25.228	5.620	0.680	0.710	0.540	7.550	29.93	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Observaciones:																		
<p><small>meq Calcio/100g (cmol(+)/Kg) x 200 = mg/Kg; meq Potasio/100g (cmol(+)/Kg) x 391 = mg/Kg; meq Magnesio/100g (cmol(+)/Kg) x 120 = mg/Kg; meq Sodio/100g (cmol(+)/Kg) x 230 = mg/Kg; Porcentaje (%) = mg/Kg / 10.000                  A = ARENA; L = LIMO; Ar = ARCILLA; F = FRANCO; CE = CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA; * CaCO3: (+) = (-) = NO PRESENTE; BAJO; (++) = MEDIO; (+++) = ALTO; (++++) = MUY ALTO. N.A. = NO APLICA; N.E. = NO ESPECÍFICA; N.D. = NO DETECTADO                  SAT = SATURADO; B.T. = BASES TOTALES; S.A.I.% = PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE; S.B.% = PORCENTAJE SATURACIÓN DE BASES; PSI = PORCENTAJE SATURACIÓN DE SODIO.                  * LA MUESTRA NO DISPERSO APROPIADAMENTE, EL % DE ARCILLA PUEDE SER MAYOR.</small></p> <p><small>NOTA: Los resultados almacenados en la base de datos y los enviados por correo electrónico se conservarán durante tres años a partir de la entrega de los mismos. Las muestras para análisis químicos, físicos y mineralógicos se almacenarán durante seis meses a partir de la fecha de entrega de resultados. Las muestras para análisis biológicos se conservarán 15 días a partir de la fecha de entrega de resultados; aguas y abonos no se conservarán. La información emitida por el Laboratorio Nacional de Suelos, se limita al análisis de la(s) muestra(s) entregada(s) por el cliente. Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 46-51 Bogotá, Telefax 3694016 ó 3694000 Ext. 91548 y 91268, mail: laboratorio@igac.gov.co                  Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.                  Certificaciones BVQI para las normas ISO 9001:2008, NTCGP 1000:2009 e ISO 14001:2004.</small></p>																		
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:																		
_____ NOMBRE <u>JAIME ALVAREZ HERRERA</u> Firma																		

	<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO – CARACTERIZACIÓN Q-01</b>			FECHA		
	GESTIÓN AGROLÓGICA			AAAA-MM-DD		
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		SARA GABRIELA ALDANA GOMEZ	TIPO DE MUESTRA	SUELO	No. SOLICITUD	2385_1
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Furzaz				
SUPLEMENTO DE RESULTADOS <input type="checkbox"/>		DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 9 NO. 8 -71 CASA 47			

Condición de la muestra	Explotación:				
APROBADA	N.A.				
Fecha de recepción de la muestra	Fecha de pago de la muestra	Fecha de ejecución de los análisis			
2017-08-11	2017-08-11	2017-08-30			
Método	Condiciones específicas o ambientales del método	Incertidumbre estimada (Si aplica)	Límite de detección (Si aplica)	Límite de cuantificación (Si aplica)	
CIC (capacidad intercambio catiónico): extracción con Acetato de Amonio 1M pH 7 – Volumétrico cuantificación por volumetría.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	1,8 cmol+/kg	1,2 cmol+/kg	2,04 cmol+/kg	
BASES INTERCAMBIABLES (calcio, magnesio, potasio y sodio): extracción con Acetato de Amonio 1M pH 7 y cuantificación por absorción-emisión atómica.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A.	N.A.	N.A.	
FÓSFORO DISPONIBLE: Bray II – Espectrofotométrico. Modificado por el IGAC y adaptado a los suelos colombianos*.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	1,42 mg P/kg suelo	0,11 mg P/kg suelo	0,37 mg P/kg suelo	
ACIDEZ INTERCAMBIABLE (A.I.) aluminio de cambio: extracción con cloruro de potasio 1M y cuantificación por volumetría.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	0,13 cmol+/kg	0,21 cmol+/kg	0,23 cmol+/kg	
CARBONO TOTAL: oxidación completa y cuantificación por inferrojo.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A.	N.A.	N.A.	
TEXTURA DEL SUELO: Hidrómetro de Bouyoucos – Densimétrico. Método IGAC adaptado a los suelos colombianos*.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	1,3 %Ar	N.A.	N.A.	
pH: Potenciométrico en relación suelo:agua 1:1.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	0,5	N.A.	N.A.	

**CONVERSIÓN DE UNIDADES(CUANDO SE REQUIERA)**


N.A.

Cualquier inquietud puede comunicarse con:

Efraín Useche Arciniegas Ext. 91676

APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:	JAIME ALVAREZ HERRERA NOMBRE	_____ Firma
-----------------------------------	---------------------------------	----------------



	<b>RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE COMPOST Y ABONOS Q-62</b>										FECHA				
	GESTIÓN AGROLÓGICA										AAAA-MM-DD				
											2017-08-31				
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		SARA GABRIELA ALDANA GOMEZ				TIPO DE MUESTRA			SUELO		No. SOLICITUD		2385_1		
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Funza													
SUPLEMENTO DE RESULTADOS		<input type="checkbox"/>	DE FECHA		DIRECCIÓN DEL CLIENTE								CALLE 9 NO. 8-71 CASA 47		
No. DE LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	PROFUNDIDAD (cm)	pH	RELACIÓN DE pH	CARBONATO DE CALCIO	COMPLEJO DE CAMBIO (meq/100g)				FÓSFORO DISPONIBLE (mg/kg)	ELEMENTOS MENORES (mg/kg)				NITRÓGENO TOTAL %
					Qualitativo	Ca	Mg	K	S.T.		Mn	Fe	Cu	B	
MQ1-25038	LOTE 1	-	8.4	1:1	N.A.	5.82	0.88	0.71	7.01	54.23	27.82	282.97	0.39	N.A.	0.73
AZUFRE TOTAL %															
0.25															
Observaciones:															

N.A. = NO APLICA; N.E. = NO ESPECÍFICA; N.D. = NO DETECTADO  
 \* CaCO<sub>3</sub>: (+) = (-) = NO PRESENTE; BAJO; (++) = MEDIO; (+++) = ALTO; (++++) = MUY ALTO.  
**NOTA:** Los resultados almacenados en la base de datos y los enviados por correo electrónico se conservarán durante tres años a partir de la entrega de los mismos. Las muestras para análisis químicos, físicos y mineralógicos se almacenarán durante seis meses a partir de la fecha de entrega de resultados. Las muestras para análisis biológicos se conservarán 15 días a partir de la fecha de entrega de resultados; aguas y abonos no se conservarán. La información emitida por el Laboratorio Nacional de Suelos, se limita al análisis de la(s) muestra(s) entregada(s) por el cliente.  
 Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 45-51 Bogotá, Telefax 3894015 ó 3894000 Ext. 91548 y 91288, mail: laboratorio@igac.gov.co  
 Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.  
 Certificaciones BVQI para las normas ISO 9001:2008, NTCGP 1000:2009 e ISO 14001:2004

APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT: \_\_\_\_\_  
 NOMBRE: JAIME ALVAREZ HERRERA  
 Firma: \_\_\_\_\_

IGAC		RESULTADOS MICROBIOLOGÍA B07 G-82							FECHA DE REALIZACIÓN			
		RESULTADOS ANÁLISIS BIOLÓGICO DE SUSTRATOS Y AGUAS - MICROBIOLOGÍA							AAAA-MM-DD			
		GRUPO INTERNO DE TRABAJO LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS							2017-09-04			
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		SARA GABRIELA ALDANA GOMEZ					No. SOLICITUD		2385_1			
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Funza					No. DE LABORATORIO		MBI-29030			
SUPLEMENTO DE RESULTADOS		DE FECHA		DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 9 NO. 8-71 CASA 47						IDENTIFICACIÓN CAMPO		LOTE 1
No. DE LABORATORIO	Tipo de muestra	Id Campo (Perfil)	Salmonella spp	COLIFORMES TOTALES	Unidad	LIMITE INFERIOR COLIFORMES TOTALES	LIMITE SUPERIOR COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	Unidad			
MBI-25038	SUELO	LOTE 1	N.D.	>5943	NMP/g	-	-	113.4	NMP/g			
LIMITE INFERIOR COLIFORMES FECALES	LIMITE SUPERIOR COLIFORMES FECALES	ESCHERICHIA COLI	Unidad	LIMITE INFERIOR ESCHERICHIA COLI	LIMITE SUPERIOR ESCHERICHIA COLI	RESPIRACIÓN (mg CO2/g/48h)	Unidad	NEMATODOS EN SUSTRATO PATÓGENOS (#/Kg muestra)	NEMATODOS EN SUSTRATO VIDA LIBRE (#/Kg muestra)			
34.4	374.4	113.4	NMP/g	34.4	374.4	3.365	(mg CO2/g/48h)	N.D.	N.D.			
NEMATODOS EN LIQUIDO PATÓGENOS (#/L muestra)	NEMATODOS EN LIQUIDO VIDA LIBRE (#/L muestra)	# HUEVOS HELMINTOS/g	# HUEVOS HELMINTOS/mL									
N.D.	N.D.	-	-									
OBSERVACIONES												
NINGUNA.												

PELOIDES

PARÁMETRO	NIVEL
Coliformes fecales en el sustrato peloide	< 0,2 NMP/g
Coliformes fecales en agua de peloides	< 2 NMP/100 mL


\*Norma Cubana NC-XX de 1998

COLIFORMES EN SUELOS

	Suelos en condiciones naturales de bosque o con buenas prácticas de manejo	Suelos naturales con coberturas raras, pastizales o reforestados recientes	Suelos sometidos a prácticas inapropiadas, contaminados o bajo monocultivos y/o bajo condiciones ambientales estresantes
Coliformes totales	<1E+04 NMP/g	1E+04 NMP/g a 1E+05 NMP/g si hay actividad pecuaria, de lo contrario <1E+04 NMP/g	>1E+05 NMP/g
Coliformes fecales	<10 NMP/g	>10 NMP/g si hay actividad pecuaria, de lo contrario <1000 NMP/g	>100 NMP/g
Escherichia coli	No detectado	<1000 si hay actividad pecuaria, de lo contrario <1000 NMP/g	>1000 NMP/g
Salmonella spp.	No detectado	Detectada si hay actividad pecuaria	Detectada

Notación científica con número de ceros según ofrezca después del símbolo \*, ejemplo: 215 = 20000; LFC: Unidades Formadoras de Colonias; N.A. No Aplica; N.I. No Indica; N.D. No detectado; D. Detectado; Confianza del valor 99% Número Más Probable; 95% Si dato del análisis se expresa en un intervalo: Límite inferior < NMP < Límite superior.

NOTA: Los resultados relacionados en la base de datos y los enviados por fax o e-mail se conservarán durante 365 días a partir de la entrega de los máximos. Las muestras se conservarán 15 días a partir de la fecha de entrega. Aguas y abonos no se conservan. La información emitida por el Laboratorio Nacional de Suelos, se limita al análisis de la(s) muestra(s) entregada(s) por el cliente. Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cta 30 N° 48-51, Telefax 3944215 ó 3944300 Ext. 4076, mail: laboratorio@igac.gov.co. Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio. Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cta 30 N° 48-51, Telefax 3944215 ó 3944300 Ext. 4076, mail: laboratorio@igac.gov.co. Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.

	<b>RESULTADOS MICROBIOLOGÍA B07 Q-82</b> <b>RESULTADOS ANÁLISIS BIOLÓGICO DE SUSTRATOS Y AGUAS - MICROBIOLOGÍA</b> <b>GRUPO INTERNO DE TRABAJO LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS</b>		FECHA DE REALIZACIÓN AAAA-MM-DD <b>2017-09-04</b>
	NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO SARA GABRIELA ALDANA GOMEZ	DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN Cundinamarca - Fusiza	No. SOLICITUD 2385_1
SUPLEMENTO DE RESULTADOS DE FECHA _____ DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 9 NO. 8 -71 CASA 47	IDENTIFICACIÓN CAMPO LOTE 1		

NEMATÓDOS INTRARRADICALES	
Plantas Sajas	NO DETECTADO
Plantas Letales o susceptibles	≥ 1 Nematodos/g
<b>NEMATÓDOS DE SUELOS</b> (valde con el especialista del cultivo según susceptibilidad, condiciones ambientales, condiciones de manejo y signos de afectación entre otros)	
Suelos no expresivos, bajo mal as prácticas de manejo, sometidos a condiciones estresantes	≥ 1 Nematodos/g: el cultivo puede verse afectado. Use una variedad resistente, implemente rotación de cultivos con plantas no hospederas.  >10 Este número de nemátodos puede iniciar a causar daño según se evidencien signos. Corregir condiciones de pH, fertilidad o encharcamiento del suelo. Use una variedad resistente.  >40 Cultivo afectado. Haga rotación con una planta no hospederas. Use un nematodo bajo recomendación de especialista.
Suelos naturales o bajo buenas prácticas de manejo	< 1. No es necesario control.  >40 Cultivo afectado. Haga rotación con una planta no hospederas. Use una variedad resistente.


**RESPIRACIÓN: Titulación ácido/base**

Para suelos	Suelos bajo condiciones naturales	Suelos fertilizados, con adición de abonos orgánicos o residuos de cosecha	Suelos sometidos a condiciones estresantes o bajo presencia de contaminantes
<b>RESPIRACIÓN</b>	0.1 – 2.0 mg/g/CO2 por 48 h	Aproximadamente 3 mg/CO2 por 48 h o más	<0.2 mg/CO2

**INTERPRETACIÓN**

Notación científica con número de ceros según cifra después del símbolo \*, ejemplo: 2\*5 = 200000 / UFC: Unidades Formadoras de Colonias; N/A, No Aplica, N.I. No Indica, N.D. No detectado, D. Detectado. Confianza del valor NMP: Número Más Probable: 95%. El dato del análisis se expresa en un intervalo: Límite inferior < NMP < Límite superior.

NOTA: Los resultados almacenados en la base de datos y los enviados por fax o e-mail se conservarán durante diez meses a partir de la entrega de los mismos. Las muestras se conservarán 15 días a partir de la fecha de entrega. Aguas y abonos no se conservan. La información emitida por el Laboratorio Nacional de Suelos, se limita al análisis de la(s) muestra(s) entregada(s) por el cliente. Favor solicitar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 48-01, Telefon: 2644019 ó 2644000 Ext. 4016, mail: laboratorio@igac.gov.co; Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio. Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 48-01, Telefon: 2644019 ó 2644000 Ext. 4016, mail: laboratorio@igac.gov.co Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.

	<b>RESULTADOS MICROBIOLOGIA B07 Q-82</b> RESULTADOS ANÁLISIS BIOLÓGICO DE SUSTRATOS Y AGUAS - MICROBIOLOGÍA GRUPO INTERNO DE TRABAJO LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS		FECHA DE REALIZACIÓN
			AAAA-MM-DD
			<b>2017-05-04</b>
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO	SARA GABRIELA ALDANA GOMEZ		No. SOLICITUD
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN	Cundinamarca - Funza		No. DE LABORATORIO
SUPLEMENTO DE RESULTADOS	DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 9 NO. 8-71 CASA 47	IDENTIFICACIÓN CAMPO
			2385_1
			MB1-25038
			LOTE 1

Condición de la muestra	Explicación:
APROBADA	

Fecha de recepción de la muestra	Fecha de pago de la muestra	Fecha de ejecución de los análisis
2017-08-11	2017-08-11	2017/08/14


Método	Condiciones específicas o ambientales del método	Incertidumbre estimada (Si aplica)	Límite de detección (Si aplica)	Límite de cuantificación (Si aplica)
NITRÓGENO TOTAL: Kjeldahl y titulación potenciométrica ó Combustión en Analizador Elemental	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A	N.A	N.A
CALCIO, MAGNESIO, HIERRO, MANGANESO Y COBRE: Digestión en ácido fluorhídrico; cuantificación absorción atómica; POTASIO: Emisión atómica.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A	N.A	N.A
FÓSFORO TOTAL: Fusión en mezcla nitrato de potasio (KNO3)/ nitrato de sodio (NaNO3) y cuantificación colorimétrica.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A	N.A	N.A
pH: Potenciométrico en relación suelo/agua 1:1*	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A	N.A	N.A
AZUFRE TOTAL: Combustión Total en Analizador Elemental.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A	N.A	N.A
BORO DISPONIBLE: extracción con DTPA y cuantificación por Absorción Atómica (A.A.)	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A	N.A	N.A

**CONVERSIÓN DE UNIDADES(CUANDO SE REQUIERA)**

N.A

Cualquier inquietud puede comunicarse con:

VLADIMIR PAEZ 3694000 EXT 91507

APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:	JAIME ALVAREZ HERRERA 	_____ Firma
-----------------------------------	--	----------------

## ANEXO 10

## A. Cálculos %Humedad

$$\%H = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} * 100\%$$

$$\%H = \frac{1243,7g - 260,4g}{1243,7g - 249,9g} * 100$$

$$\%H = 98,943\%$$

## B. %Sólidos en el lodo [%Ps]

$$\%Ps = 100 - \%H$$

$$\%Ps = 1,0565\%$$

C. Densidad Relativa del lodo [ $\delta_{Lodo}$ ]

Es la densidad teórica estimada para los lodos objeto de estudio y se calculó a partir de las fórmulas de Romero (1999).

$$\frac{1}{S_L} = \frac{P_s}{S_s} + \frac{P_a}{S_a}$$

Donde,

$S_L$ : Densidad relativa del lodo

$S_a$ : Densidad relativa del agua [ $\sim 1,0 \text{ g/cm}^3$ ]

$P_s$ : Porcentaje de sólidos en el lodo [decimal]

$S_s$ : Densidad relativa de los sólidos

$P_a$ : Porcentaje de agua en el lodo [decimal]

[ $\sim 1,2 \text{ g/cm}^3$ ]

$$\frac{1}{S_L} = \frac{0,01057}{1,2} + \frac{0,98943}{1,0}$$

$$\frac{1}{S_L} = 8,8083 * 10^{-3} + 0,98943$$

$$\frac{1}{S_L} = 0,99824$$

$$S_L = 1,001765 \text{ g/cm}^3$$

#### D. Velocidad de sedimentación de las partículas del lodo [ $v_{sed}$ ]

Esta propiedad se halló con el propósito de conocer cuál es la velocidad de decantación de los sólidos presentes en el lodo para separarse del agua en el espesador de la planta piloto, que maneja un flujo laminar (<2000 de acuerdo al número de Reynolds). Por lo tanto, de acuerdo a la Ley de Stokes que representa una sedimentación simple, se toma las partículas como discretas, considerando que el floc ya tiene una dimensión definida (Romero, 1999).

$$v_{sed} = \frac{g(\delta_p - \delta_w)d^2}{18\mu}; R = \frac{v_{sed} * d}{\eta}$$

Donde,

$v_{sed}$ : Velocidad de sedimentación de las partículas del lodo [m/s]

g: gravedad [9,81m/s<sup>2</sup>]

$\delta_p$ : Densidad de la partícula [~2650 kg/m<sup>3</sup>]

$\delta_w$ : Densidad del agua [~998,9 kg/m<sup>3</sup>]

d: Diámetro de la partícula [~2\*10<sup>-4</sup> m]

$\mu$ : Viscosidad dinámica de la partícula [~1,034\*10<sup>-3</sup> kg/m.s]

T°: Temperatura [~19°C]

R: Número de Reynolds

$\eta$ : Viscosidad cinemática de la partícula [kg/m.s]

$$v_{sed} = \frac{9,81(2650 - 998,9)(2 * 10^{-4})^2}{18(1,034 * 10^{-3})}$$

$$v_{sed} = 6,04033 * 10^{-5} m/s$$

$$R = \frac{6,04033 * 10^{-5} m/s * (2 * 10^{-4} m)}{\frac{1,034 * 10^{-3} kg/m.s}{998,9 kg/m^3}}$$

$$R = 0,1167 < 2000 \rightarrow \text{Flujo Laminar}$$

## ANEXO 11

## A. Eficiencias del Tratamiento 1: 100% Lodo sin acidificar

**Tabla 66.** Porcentajes de remoción de turbiedad - 100% Lodo sin acidificar

Remoción de turbiedad														
100% Lodo sin acidificar														
Turbiedad final												Turbiedad inicial		
Réplica	J1	%Eficiencia	J2	%Eficiencia	J3	%Eficiencia	J4	%Eficiencia	J5	%Eficiencia	J6	%Eficiencia	Réplica	Resultado
1	5,02	-45,51%	4,93	-42,90%	4,87	-41,16%	5,12	-48,41%	4,10	-18,84%	3,91	-13,33%	1	3,45
2	4,91	-1,24%	4,83	0,41%	4,82	0,62%	4,08	15,88%	3,92	19,18%	4,04	16,70%	2	4,85
3	3,53	5,87%	4,39	-17,07%	3,73	0,53%	4,33	-15,47%	4,36	-16,27%	2,56	31,73%	3	3,75
<b>Promedio</b>		-13,63%		-19,85%		-13,34%		-16,00%		-5,31%		11,70%		

**Tabla 67.** Porcentajes de remoción de color - 100% Lodo sin acidificar

Remoción de color														
100% Lodo sin acidificar														
Color final												Color inicial		
Réplica	J1	%Eficiencia	J2	%Eficiencia	J3	%Eficiencia	J4	%Eficiencia	J5	%Eficiencia	J6	%Eficiencia	Réplica	Resultado
1	31,20	-5,05%	30,70	-3,37%	29,40	1,01%	28,40	4,38%	27,60	7,07%	26,40	11,11%	1	29,70
2	30,90	-11,96%	29,80	-7,97%	29,30	-6,16%	29,60	-7,25%	26,50	3,99%	30,80	-11,59%	2	27,60
3	41,10	-26,85%	38,40	-18,52%	44,60	-37,65%	39,60	-22,22%	40,40	-24,69%	39,20	-20,99%	3	32,40
<b>Promedio</b>		-14,62%		-9,95%		-14,27%		-8,36%		-4,55%		-7,16%		

## B. Eficiencias del Tratamiento 2: 100% Lodo acidificado a pH: 1,0

**Tabla 68.** Porcentajes de remoción de turbiedad - 100% Lodo acidificado a pH: 1,0

<i>Remoción de turbiedad</i>														
<i>100% Lodo acidificado - pH: 1,0</i>														
<i>Turbiedad final</i>													<i>Turbiedad inicial</i>	
<i>Réplica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Réplica</i>	<i>Resultado</i>
1	2,35	3,29%	2,49	-2,47%	2,52	-3,70%	2,42	0,41%	2,67	-9,88%	2,36	2,88%	1	2,43
2	1,39	-13,01%	1,57	-27,64%	1,77	-43,90%	1,54	-25,20%	2,30	-86,99%	1,17	4,88%	2	1,23
3	2,02	34,63%	3,73	-20,71%	3,54	-14,56%	3,26	-5,50%	3,10	-0,32%	3,09	0,00%	3	3,09
<b>Promedio</b>		8,30%		-16,94%		-20,72%		-10,10%		-32,40%		2,59%		

**Tabla 69.** Porcentajes de remoción de color - 100% Lodo acidificado a pH: 1,0

<i>Remoción de Color</i>														
<i>100% Lodo acidificado - pH: 1,0</i>														
<i>Color final</i>													<i>Color inicial</i>	
<i>Réplica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Réplica</i>	<i>Resultado</i>
1	26,30	-25,84%	27,30	-30,62%	27,20	-30,14%	26,50	-26,79%	28,40	-35,89%	28,90	-38,28%	1	20,90
2	27,30	-32,52%	28,40	-37,86%	27,80	-34,95%	26,80	-30,10%	29,90	-45,15%	32,00	-55,34%	2	20,60
3	24,50	-7,93%	23,70	-4,41%	22,90	-0,88%	22,00	3,08%	22,80	-0,44%	23,10	-1,76%	3	22,70
<b>Promedio</b>		-22,10%		-24,30%		-21,99%		-17,94%		-27,16%		-31,79%		



C. Eficiencias del Tratamiento 3: 100% Lodo acidificado a pH: 1,5

**Tabla 70.** Porcentajes de remoción de turbiedad - 100% Lodo acidificado a pH: 1,5

<i>Remoción de turbiedad</i>														
<i>100% Lodo acidificado - pH: 1,5</i>														
<i>Turbiedad final</i>											<i>Turbiedad inicial</i>			
<i>Réplica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Réplica</i>	<i>Resultado</i>
1	2,67	13,03%	2,65	13,68%	2,73	11,07%	2,76	10,10%	2,99	2,61%	3,00	2,28%	1	3,07
2	1,18	41,87%	1,17	42,36%	1,78	12,32%	1,92	5,42%	2,02	0,49%	1,09	46,31%	2	2,03
3	2,83	5,03%	3,13	-5,03%	3,64	-22,15%	4,96	-66,44%	4,43	-48,66%	4,62	-55,03%	3	2,98
<b>Promedio</b>		19,98%		17,00%		0,41%		-16,98%		-15,19%		-2,15%		

**Tabla 71.** Porcentajes de remoción de color - 100% Lodo acidificado a pH: 1,5

<i>Remoción de Color</i>														
<i>100% Lodo acidificado - pH: 1,5</i>														
<i>Color final</i>													<i>Color inicial</i>	
<i>Réplica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Réplica</i>	<i>Resultado</i>
1	35,50	0,84%	36,90	-3,07%	35,50	0,84%	33,50	6,42%	37,50	-4,75%	38,80	-8,38%	1	35,80
2	24,80	-20,98%	23,80	-16,10%	25,00	-21,95%	24,60	-20,00%	25,90	-26,34%	27,00	-31,71%	2	20,50
3	31,00	2,52%	33,00	-3,77%	32,60	-2,52%	33,10	-4,09%	33,70	-5,97%	38,20	-20,13%	3	31,80
<b>Promedio</b>		-5,87%		-7,65%		-7,88%		-5,89%		-12,35%		-20,07%		

D. Eficiencias del Tratamiento 4: 100% Lodo acidificado a pH: 2,0

**Tabla 72.** Porcentajes de remoción de turbiedad - 100% Lodo acidificado a pH: 2,0

<i>Remoción de turbiedad</i>														
<i>100% Lodo acidificado - pH: 2,0</i>														
<i>Turbiedad final</i>													<i>Turbiedad inicial</i>	
<i>Réplica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Réplica</i>	<i>Resultado</i>
1	2,83	21,39%	3,10	13,89%	3,19	11,39%	3,35	6,94%	3,78	-5,00%	3,47	3,61%	1	3,60
2	2,85	13,11%	3,06	6,71%	3,17	3,35%	2,92	10,98%	3,25	0,91%	3,12	4,88%	2	3,28
3	4,90	-18,93%	4,49	-8,98%	3,74	9,22%	3,77	8,50%	4,20	-1,94%	3,95	4,13%	3	4,12
<b>Promedio</b>		5,19%		3,87%		7,99%		8,81%		-2,01%		4,21%		

**Tabla 73.** Porcentajes de remoción de color - 100% Lodo acidificado a pH: 2,0

<i>Remoción de Color</i>														
<i>100% Lodo acidificado - pH: 2,0</i>														
<i>Color final</i>													<i>Color inicial</i>	
<i>Réplica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Réplica</i>	<i>Resultado</i>
1	34,90	-9,06%	34,10	-6,56%	35,60	-11,25%	34,50	-7,81%	36,10	-12,81%	37,20	-16,25%	1	32,00
2	28,40	-22,41%	26,30	-13,36%	27,10	-16,81%	26,20	-12,93%	23,50	-1,29%	21,70	6,47%	2	23,20
3	29,20	-14,96%	28,30	-11,42%	27,40	-7,87%	28,60	-12,60%	25,10	1,18%	23,80	6,30%	3	25,40
<b>Promedio</b>		-15,48%		-10,45%		-11,98%		-11,11%		-4,31%		-1,16%		

E. Eficiencias del Tratamiento 5: 100% Lodo acidificado a pH: 2,5

**Tabla 74.** Porcentajes de remoción de turbiedad - 100% Lodo acidificado a pH: 2,5

<i>Remoción de turbiedad</i>														
<i>100% Lodo acidificado - pH: 2,5</i>														
<i>Turbiedad final</i>													<i>Turbiedad inicial</i>	
<i>Répl ca</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Répl ca</i>	<i>Resultado</i>
1	3,48	-5,78%	3,06	6,99%	3,10	5,78%	3,12	5,17%	3,28	0,30%	3,25	1,22%	1	3,29
2	3,50	6,67%	3,36	10,40%	3,47	7,47%	3,52	6,13%	2,96	21,07%	3,48	7,20%	2	3,75
3	3,56	1,39%	3,18	11,91%	3,21	11,08%	3,63	-0,55%	3,02	16,34%	3,51	2,77%	3	3,61
<b>Promedio</b>		0,76%		9,77%		8,11%		3,58%		12,57%		3,73%		

**Tabla 75.** Porcentajes de remoción de color - 100% Lodo acidificado a pH: 2,5

<i>Remoción de Color</i>														
<i>100% Lodo acidificado - pH: 2,5</i>														
<i>Color final</i>													<i>Color inicial</i>	
<i>Répl ca</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Répl ca</i>	<i>Resultado</i>
1	31,60	-16,18%	27,90	-2,57%	27,60	-1,47%	28,50	-4,78%	19,80	27,21%	28,70	-5,51%	1	27,20
2	28,30	-12,30%	26,40	-4,76%	25,90	-2,78%	26,10	-3,57%	21,20	15,87%	24,30	3,57%	2	25,20
3	31,00	-15,67%	28,30	-5,60%	26,80	0,00%	27,40	-2,24%	25,70	4,10%	20,10	25,00%	3	26,80
<b>Promedio</b>		-14,72%		-4,31%		-1,42%		-3,53%		15,73%		7,69%		

## F. Eficiencias del Tratamiento 6: 100% Lodo acidificado a pH: 3,0

**Tabla 76.** Porcentajes de remoción de turbiedad - 100% Lodo acidificado a pH: 3,0

<i>Remoción de turbiedad</i>														
<i>100% Lodo acidificado - pH: 3,0</i>														
<i>Turbiedad final</i>													<i>Turbiedad inicial</i>	
<i>Réplica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Réplica</i>	<i>Resultado</i>
1	1,95	22,00%	2,10	16,00%	2,30	8,00%	2,15	14,00%	2,59	-3,60%	2,42	3,20%	1	2,50
2	2,33	20,21%	2,74	6,16%	2,29	21,58%	1,88	35,62%	3,08	-5,48%	2,61	10,62%	2	2,92
3	2,37	26,63%	2,94	8,98%	3,12	3,41%	2,46	23,84%	3,17	1,86%	2,13	34,06%	3	3,23
<b>Promedio</b>		22,94%		10,38%		10,99%		24,49%		-2,41%		15,96%		

**Tabla 77.** Porcentajes de remoción de color - 100% Lodo acidificado a pH: 3,0

<i>Remoción de Color</i>														
<i>100% Lodo acidificado - pH: 3,0</i>														
<i>Color final</i>													<i>Color inicial</i>	
<i>Réplica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Réplica</i>	<i>Resultado</i>
1	23,30	6,43%	22,80	8,43%	23,90	4,02%	24,50	1,61%	25,40	-2,01%	24,90	0,00%	1	24,90
2	19,10	4,02%	23,10	-16,08%	19,30	3,02%	18,70	6,03%	19,10	4,02%	18,60	6,53%	2	19,90
3	21,40	8,94%	20,60	12,34%	22,10	5,96%	22,60	3,83%	22,80	2,98%	20,80	11,49%	3	23,50
<b>Promedio</b>		6,46%		1,56%		4,33%		3,82%		1,66%		6,01%		

## G. Eficiencias del Tratamiento 7: 50% Lodo acidificado - pH:1,0 / 50% Coagulante comercial

**Tabla 78.** Porcentajes de remoción de turbiedad – Séptimo Ensayo: 50% Lodo acidificado - pH: 1,0 / 50% Coagulante comercial

<i>Remoción de turbiedad</i>														
<i>Séptimo Ensayo: 50% Lodo acidificado - pH:1,0 / 50% Coagulante comercial</i>														
<i>Turbiedad final</i>													<i>Turbiedad inicial</i>	
<i>Réplica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Réplica</i>	<i>Resultado</i>
1	6,45	-32,44%	5,42	-11,29%	6,62	-35,93%	6,97	-43,12%	5,61	-15,20%	3,89	20,12%	1	4,87
2	1,48	-8,82%	1,63	-19,85%	1,84	-35,29%	1,79	-31,62%	1,87	-37,50%	2,20	-61,76%	2	1,36
3	3,92	-5,09%	4,05	-8,58%	5,12	-37,27%	4,37	-17,16%	4,49	-20,38%	2,88	22,79%	3	3,73
<b>Promedio</b>		-15,45%		-13,24%		-36,16%		-30,63%		-24,36%		-6,28%		

**Tabla 79.** Porcentajes de remoción de color - Séptimo Ensayo: 50% Lodo acidificado - pH: 1,0 / 50% Coagulante comercial

<i>Remoción de Color</i>														
<i>Séptimo Ensayo: 50% Lodo acidificado - pH:1,0 / 50% Coagulante comercial</i>														
<i>Color final</i>													<i>Color inicial</i>	
<i>Réplica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Réplica</i>	<i>Resultado</i>
1	31,20	-13,87%	30,20	-10,22%	30,90	-12,77%	31,80	-16,06%	23,50	14,23%	19,90	27,37%	1	27,40
2	29,20	-32,13%	28,50	-28,96%	29,70	-34,39%	30,60	-38,46%	29,60	-33,94%	28,70	-29,86%	2	22,10
3	26,10	-6,10%	27,50	-11,79%	28,30	-15,04%	28,00	-13,82%	26,80	-8,94%	19,50	20,73%	3	24,60
<b>Promedio</b>		-17,36%		-16,99%		-20,73%		-22,78%		-9,55%		6,08%		

H. Eficiencias del Tratamiento 8: 50% Lodo acidificado - pH:1,0 / 50% Coagulante comercial

**Tabla 80.** Porcentajes de remoción de turbiedad – Octavo Ensayo: 50% Lodo acidificado - pH: 1,0 / 50% Coagulante comercial

<i>Remoción de turbiedad</i>														
<i>Octavo Ensayo: 50% Lodo acidificado - pH:1,0 / 50% Coagulante comercial</i>														
<i>Turbiedad final</i>													<i>Turbiedad inicial</i>	
<i>Réplica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Réplica</i>	<i>Resultado</i>
1	4,65	-4,26%	4,85	-8,74%	4,19	6,05%	4,38	1,79%	3,78	15,25%	3,35	24,89%	1	4,46
2	2,38	-3,48%	2,44	-6,09%	1,61	30,00%	2,14	6,96%	1,48	35,65%	1,29	43,91%	2	2,30
3	5,60	-16,42%	4,77	0,83%	4,48	6,86%	3,94	18,09%	4,11	14,55%	3,39	29,52%	3	4,81
<b>Promedio</b>		-8,05%		-4,67%		14,30%		8,95%		21,82%		32,77%		

**Tabla 81.** Porcentajes de remoción de color – Octavo Ensayo: 50% Lodo acidificado - pH: 1,0 / 50% Coagulante comercial

<i>Remoción de Color</i>														
<i>Octavo Ensayo: 50% Lodo acidificado - pH:1,0 / 50% Coagulante comercial</i>														
<i>Color final</i>													<i>Color inicial</i>	
<i>Réplica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Réplica</i>	<i>Resultado</i>
1	37,70	-27,62%	36,00	-21,87%	33,60	-13,74%	33,20	-12,39%	31,10	-5,28%	28,10	4,87%	1	29,54
2	35,40	-17,22%	33,40	-10,60%	35,80	-18,54%	31,50	-4,30%	29,90	0,99%	27,60	8,61%	2	30,20
3	28,10	-15,64%	24,70	-1,65%	27,30	-12,35%	25,20	-3,70%	21,60	11,11%	17,20	29,22%	3	24,30
<b>Promedio</b>		-20,16%		-11,37%		-14,88%		-6,80%		2,27%		14,23%		

I. Eficiencias del Tratamiento 8: 89% Lodo acidificado - pH:1,0 / 11% Coagulante comercial

**Tabla 82.** Porcentajes de remoción de turbiedad – 89% Lodo acidificado - pH: 1,0 / 11% Coagulante comercial

<i>Remoción de turbiedad</i>														
<i>Noveno Ensayo: 89% Lodo acidificado - pH:1,0 / 11% Coagulante comercial</i>														
<i>Turbiedad final</i>													<i>Turbiedad inicial</i>	
<i>Répl ica</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficiencia</i>	<i>Rép lica</i>	<i>Resultado</i>
1	1,82	23,85%	1,41	41,00%	1,02	57,32%	1,45	39,33%	1,05	56,07%	1,05	56,07%	1	2,39
2	1,44	43,97%	1,35	47,47%	0,73	71,60%	0,89	65,37%	0,64	75,10%	0,62	75,88%	2	2,57
3	2,96	43,40%	3,26	37,67%	2,45	53,15%	1,68	67,88%	1,60	69,41%	0,78	85,09%	3	5,23
<b>Promedio</b>		37,07%		42,05%		60,69%		57,53%		66,86%		72,34%		

**Tabla 83.** Porcentajes de remoción de color - 89% Lodo acidificado - pH: 1,0 / 11% Coagulante comercial

<i>Remoción de Color</i>														
<i>Noveno Ensayo: 89% Lodo acidificado - pH:1,0 / 11% Coagulante comercial</i>														
<i>Color final</i>													<i>Color inicial</i>	
<i>Répli ca</i>	<i>J1</i>	<i>%Eficienci a</i>	<i>J2</i>	<i>%Eficienci a</i>	<i>J3</i>	<i>%Eficienci a</i>	<i>J4</i>	<i>%Eficienci a</i>	<i>J5</i>	<i>%Eficienci a</i>	<i>J6</i>	<i>%Eficienci a</i>	<i>Rép lica</i>	<i>Resultado</i>
1	21,20	27,40%	17,70	39,38%	17,70	39,38%	17,10	41,44%	14,40	50,68%	14,10	51,71%	1	29,20
2	17,80	34,80%	16,30	40,29%	16,30	40,29%	13,90	49,08%	12,00	56,04%	11,20	58,97%	2	27,30
3	24,70	-17,62%	24,50	-16,67%	24,50	-16,67%	17,90	14,76%	14,70	30,00%	12,40	40,95%	3	21,00
<b>Promedio</b>		14,86%		21,00%		21,00%		35,09%		45,58%		50,55%		

## ANEXO 12

De la Tabla 84 a la Tabla 87 se presentan las mediciones de la longitud del tallo, raíz y biomasa de las plántulas que germinaron en el tratamiento 1 al tratamiento 4

**Tabla 84. Mediciones del tratamiento 1**

<i>Tratamiento 1</i>		
<i>Tallo (cm)</i>	<i>Raíz (cm)</i>	<i>Biomasa (g)</i>
8,6	3,3	0,328
7,4	3,75	0,294
2,3	5,3	0,116
5,3	6,2	0,253
4,4	3,3	0,219
3,9	2,2	0,199
3,4	3,6	0,185
2,8	2,3	0,167
2,2	3,9	0,15
1,6	2,2	0,133
4,1	2,52	0,224
4,9	2,3	0,207
5,8	2,1	0,271
4,7	1,9	0,245
5,4	5,3	0,297
4,9	3,3	0,233
4,7	2,5	0,246

4,5	3,2	0,24
4,2	2,6	0,234
3,9	1,7	0,175
3,5	4,4	0,132
4,6	3,6	0,249
4,3	4	0,236
4,7	3,6	0,209
4,5	2,6	0,208
5,0	3,8	0,276
8,9	4,8	0,299
9,5	6	0,363
4,1	3,8	0,256
7,0	5,5	0,291
4,4	1,2	0,204
5,5	5,4	0,253
6,7	4,6	0,284
7,3	5,8	0,295
7,8	5,5	0,296
8,4	6,9	0,301
<b>5,133</b>	<b>3,749</b>	<b>0,238</b>

**Tabla 85. Mediciones del tratamiento 2**

<i>Tratamiento 2</i>		
<i>Tallo (cm)</i>	<i>Raíz (cm)</i>	<i>Biomasa (g)</i>

2,6	1	0,147
1,1	0,9	0,098
1,3	0,6	0,101
1,7	0,8	0,125



2,8	0,5	0,176
1,5	0,6	0,102
0,8	0,3	0,057
<b>1,686</b>	<b>0,671</b>	<b>0,115</b>

1,3	0,7	0,161
2,4	1,1	0,267
1,6	1,1	0,19
2,1	1,45	0,195
1,2	1,6	0,095
1,57	1,8	0,12
1,1	0,9	0,062
0,8	0,3	0,024
1,42	2,536	0,153
1,37	2,755	0,138
0,7	0,6	0,041
<b>1,757</b>	<b>1,268</b>	<b>0,157</b>

**Tabla 86.** Mediciones del tratamiento 3

<i>Tratamiento 3</i>		
<i>Tallo (cm)</i>	<i>Raíz (cm)</i>	<i>Biomasa (g)</i>
1,8	0,8	0,152
1,2	0,6	0,145
2,9	1,2	0,238
1,8	1,6	0,101
1,9	1,1	0,109
2,6	1,5	0,176
2,9	1,8	0,183
2,3	1,25	0,412
2,7	1,2	0,208
1,9	1,3	0,146
1,1	0,7	0,147

**Tabla 87.** Mediciones del tratamiento 4

<i>Tratamiento 4</i>		
<i>Tallo (cm)</i>	<i>Raíz (cm)</i>	<i>Biomasa (g)</i>
1	0,3	0,053
1,1	0,3	0,071
0,9	0,5	0,1001
<b>1,000</b>	<b>0,367</b>	<b>0,075</b>

ANEXO 13


Las mediciones de biomasa para las pruebas de compostaje en los tres tratamientos están en la Tabla 88.


**Tabla 88.** Biomasa de las plántulas de repollo para las pruebas de compostaje

Biomasa (g)		
T1	T2	T3
0,485	0,37	0,037
0,232	0,552	0,0432
0,256	0,193	0,096
0,509	0,168	0,0127
0,21	0,292	0,0422
0,481	0,583	0,0101
0,38	0,305	0,087
0,433	0,312	0,045
0,51	0,204	<b>0,04665</b>
0,263	0,181	
0,356	0,444	
0,376	0,267	
0,42	0,251	
0,355	0,235	
0,34	0,219	
0,234	0,203	
0,423	0,187	
0,312	0,171	
0,302	0,576	
0,291	0,114	
0,466	0,345	
0,515	0,236	
0,307	0,334	

0,269	0,448
0,445	0,488
0,214	0,457
0,199	0,284
0,455	0,511
0,506	0,537
0,367	0,564
0,667	0,391
0,505	0,218
0,549	0,644
0,412	0,671
0,578	0,427
0,605	0,23
0,589	0,44
0,605	0,558
0,58	<b>0,3581579</b>
0,384	
0,288	
0,492	
0,596	
0,296	
0,603	
0,207	
0,411	
0,615	
<b>0,414</b>	


ANEXO 14

	<b>RESULTADOS INHIBICIÓN DE GERMINACIÓN Q-82</b> RESULTADO ANÁLISIS BIOLÓGICO - ENSAYO DE INHIBICIÓN DE GERMINACIÓN GRUPO INTERNO DE TRABAJO LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS			FECHA DE REALIZACIÓN AAAA-MM-DD <b>2017-09-04</b>
	NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO SARA GABRIELA ALDANA GOMEZ	No. SOLICITUD 2385_1		
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN Cundinamarca - Furza	No. DE LABORATORIO MB1-2508			
SUPLEMENTO DE RESULTADOS DE FECHA _____ DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 9 NO. 8-71 CASA 47	IDENTIFICACIÓN CAMPO LOTE 1			
<b>CARACTERÍSTICAS DEL ABONO O COMPOST</b>				
OLOR: DESAGRADABLE MATERIAL DE ORIGEN: INDISTINGUIBLE TEMPERATURA AL HUMEDECER: N.A.	APARENCIA: COMPACTA TEMPERATURA PREVIA: N.A. pH: 5.48			
<b>DATOS DEL ENSAYO</b>				
SEMILLA: Brassica oleracea (repollo) % GERMINACIÓN REPORTADA: 85%	No. DE TRATAMIENTOS: 4.00 No. DE RÉPLICAS: 3.00		SUSTRATO CONTROL: Turba	
<b>RESULTADOS</b>				
<b>% DE GERMINACIÓN A 6 DÍAS</b>				
<b>TRATAMIENTOS (RELACIÓN MUESTRA:SUSTRATO CONTROL)</b>				
Réplica	1:0	1:1	1:3	0:1 Control
1	-	33.33	93.33	93.75
2	20.00	-	106.67	93.75
3	13.33	33.33	100.00	93.75
<b>% MUERTES A LOS 6 DÍAS</b>				
0.00		0.00		
<b>BIOMASA DE PLÁNTULAS EMERGIDAS (g) A 6 DÍAS</b>				
<b>TRATAMIENTOS (RELACIÓN MUESTRA:SUSTRATO CONTROL)</b>				
Réplica	1:0	1:1	1:3	0:1 Control
1	-	0.044	0.302	0.168
2	0.036	-	0.393	0.231
3	0.025	0.092	0.372	0.231
<b>% DE PLÁNTULAS ANORMALES</b>				
0.00		0.00		
<b>PROMEDIO LONGITUD TALLO (mm) A 6 DÍAS</b>				
<b>TRATAMIENTOS (RELACIÓN MUESTRA:SUSTRATO CONTROL)</b>				
Réplica	1:0	1:1	1:3	0:1 Control
1	-	3.200	15.571	5.733
<small>Notación científica con número de ceros según cifra después del símbolo *, ejemplo: 2*5 = 200000 (UPC: Unidades Formadoras de Colonias; N.A. No Aplica, N.I. No Indica, N.D. No Detectado, D. Detectado. Confianza del vector NMP Número Más Probable 60%. El dato del análisis se expresa en un intervalo: Límite inferior &lt; NMP &lt; Límite superior.                  NOTA: Los resultados almacenados en la base de datos y los enviados por fax o e-mail se conservarán durante 360 meses a partir de la entrega de los mismos. Las muestras se conservarán 15 días a partir de la fecha de entrega. Agua y abonos no se conservan. La información emitida por el Laboratorio Nacional de Suelos, se limita al análisis de las muestras entregadas por el cliente. Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 46-51, Teléfonos 2644116 ó 2644000 Ext. 4016, mail: laboratorion@igac.gov.co. Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.</small>				

	<b>RESULTADOS INHIBICIÓN DE GERMINACIÓN Q-82</b>				FECHA DE REALIZACIÓN	
	RESULTADO ANÁLISIS BIOLÓGICO - ENSAYO DE INHIBICIÓN DE GERMINACIÓN				AAAA-MM-DD	
	GRUPO INTERNO DE TRABAJO LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS				<b>2017-09-04</b>	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO	SARA GABRIELA ALDANA GOMEZ			No. SOLICITUD	2385_1	
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN	Cundinamarca - Furza			No. DE LABORATORIO	MB1-25038	
SUPLEMENTO DE RESULTADOS	DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 9 NO. 8 -71 CASA 47			IDENTIFICACIÓN CAMPO	LOTE 1
2	3.333	-	17.000	8.000		
3	4.500	10.000	15.133	9.487		
<b>PROMEDIO LONGITUD DE RAÍZ (mm) A 6 DÍAS</b>						
<b>TRATAMIENTOS (RELACIÓN MUESTRA:SUSTRATO CONTROL)</b>						
Réplica	1:0	1:1	1:3	0:1 Control		
1	-	1.600	24.420	7.200		
2	5.987	-	28.313	12.267		
3	1.000	10.400	31.200	12.887		
<b>RELACIÓN TALLO / RAÍZ</b>						
<b>TRATAMIENTOS (RELACIÓN MUESTRA:SUSTRATO CONTROL)</b>						
Réplica	1:0	1:1	1:3	0:1 Control		
1	-	0.813	0.553	0.990		
2	0.188	-	0.745	0.827		
3	0.563	1.003	0.482	0.777		
OBSERVACIONES NINGUNA.						

INTERPRETACIÓN

Notación científica con número de ceros según cifra después del símbolo <sup>+</sup>, ejemplo: 2\*10 = 200000; UFC: Unidades Formadoras de Colonias; N.A. No Ayuda, N.I. No Indica, N.D. No detectado, D. Detectado; Confianza del valor NMP: Número Más Probable: 95%. El dato del análisis se expresa en un intervalo: Límite inferior + NMP + Límite superior.  
NOTA: Los resultados almacenados en la base de datos y los enviados por los e-mail se conservarán durante diez (10) meses a partir de la entrega de los mismos. Las muestras se conservarán 15 días a partir de la fecha de entrega. Aguas y abonos no se conservan. La información enviada por el Laboratorio Nacional de Suelos, se limita al análisis de la(s) muestra(s) entregada(s) por el cliente. Favor consultar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cta 30 N° 48-51, Teléfo: 3944018 ó 3944000 Ext. 4016, mail: laboratorio@igac.gov.co; Prohíbida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.

	<b>RESULTADOS INHIBICIÓN DE GERMINACIÓN Q-82</b>		FECHA DE REALIZACIÓN
	RESULTADO ANÁLISIS BIOLÓGICO - ENSAYO DE INHIBICIÓN DE GERMINACIÓN		AAAA-MM-DD
	GRUPO INTERNO DE TRABAJO LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS		<b>2017-03-04</b>
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO	SARA GABRIELA ALDANA GOMEZ		No. SOLICITUD
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN	Cundinamarca - Funza		No. DE LABORATORIO
SUPLEMENTO DE RESULTADOS	DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN CAMPO
		CALLE 9 NO. 8-71 CASA 47	2385_1 MB1-25038 LOTE 1

Condición de la muestra	Explicación:
APROBADA	

Fecha de recepción de la muestra	Fecha de pago de la muestra	Fecha de ejecución de los análisis
2017-08-11	2017-08-11	2017/08/14

Método	Condiciones específicas o ambientales del método	Incertidumbre estimada (Si aplica)	Límite de detección (Si aplica)	Límite de cuantificación (Si aplica)
NITRÓGENO TOTAL: Kjeldahl y titulación potenciométrica ó Combustión en Analizador Elemental	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A	N.A	N.A
CALCIO, MAGNESIO, HIERRO, MANGANESO Y COBRE: Digestión en Hfo ácido fluorhídrico; cuantificación absorción atómica; POTASIO: Emisión atómica.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A	N.A	N.A
FÓSFORO TOTAL: Fusión en mezcla nitrato de potasio (KNO3)/ nitrato de sodio (NaNO3) y cuantificación colorimétrica.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A	N.A	N.A
pH: Potenciométrico en relación suelo:agua 1:1*	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A	N.A	N.A
AZUFRE TOTAL: Combustión Total en Analizador Elemental.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A	N.A	N.A
BORO DISPONIBLE: extracción con DTPA y cuantificación por Absorción Atómica (A.A.).	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.	N.A	N.A	N.A

CONVERSIÓN DE UNIDADES(CUANDO SE REQUIERA)

N.A

Cualquier inquietud puede comunicarse con:

VLADIMIR PAEZ 3594000 EXT 91507

APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:	JAIME ALVAREZ HERRERA <small>Fecha</small>	<small> Firma</small>
-----------------------------------	---	-----------------------

## ANEXO 15

<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>				2017		2018		2019		2020		2021	
Nombre	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total
<i>Maquinaria y equipo</i>													
Mantenimiento	1	\$ 112.000	\$ 112.000	\$ 115.808	\$ 115.808	\$ 119.745	\$ 119.745	\$ 123.817	\$ 123.817	\$ 128.027	\$ 128.027	\$ 128.027	\$ 128.027
<i>Mano de Obra</i>													
Operario de planta	12	\$ 2.000.000	\$24.000.000	\$ 2.068.000	\$ 24.816.000	\$ 2.138.312	\$ 25.659.744	\$ 2.211.015	\$ 26.532.175	\$ 2.286.189	\$ 27.434.269	\$ 2.286.189	\$ 27.434.269
Fontanero	12	\$ 1.400.000	\$16.800.000	\$ 1.447.600	\$ 17.371.200	\$ 1.496.818	\$ 17.961.821	\$ 1.547.710	\$ 18.572.523	\$ 1.600.332	\$ 19.203.988	\$ 1.600.332	\$ 19.203.988
Dotaciones	6	\$ 77.000	\$ 462.000	\$ 79.618	\$ 477.708	\$ 82.325	\$ 493.950	\$ 85.124	\$ 510.744	\$ 88.018	\$ 528.110	\$ 88.018	\$ 528.110
<i>Materias primas e insumos</i>													
Arcilla	12	\$ 1.500.000	\$18.000.000	\$ 1.551.000	\$ 18.612.000	\$ 1.603.734	\$ 19.244.808	\$ 1.658.261	\$ 19.899.131	\$ 1.714.642	\$ 20.575.702	\$ 1.714.642	\$ 20.575.702
Sulfato de aluminio	12	\$ 6.666.660	\$79.999.920	\$ 6.893.326	\$ 82.719.917	\$ 7.127.700	\$ 85.532.394	\$ 7.370.041	\$ 88.440.496	\$ 7.620.623	\$ 91.447.473	\$ 7.620.623	\$ 91.447.473
Ácido Sulfúrico	12	\$ 7.662.200	\$91.946.400	\$ 7.922.715	\$ 95.072.578	\$ 8.192.087	\$ 98.305.045	\$ 8.470.618	\$101.647.417	\$ 8.758.619	\$105.103.429	\$ 8.758.619	\$105.103.429
Transporte de equinaza	12	\$ 80.000	\$ 960.000	\$ 82.720	\$ 992.640	\$ 85.532	\$ 1.026.390	\$ 88.441	\$ 1.061.287	\$ 91.448	\$ 1.097.371	\$ 91.448	\$ 1.097.371
<i>Servicios públicos</i>													
Energía eléctrica	12	\$ 1.981.593	\$23.779.116	\$ 2.048.967	\$ 24.587.606	\$ 2.118.632	\$ 25.423.585	\$ 2.190.666	\$ 26.287.986	\$ 2.265.148	\$ 27.181.778	\$ 2.265.148	\$ 27.181.778
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 256.059.436</b>	<b>\$ 264.765.457</b>		<b>\$ 273.767.482</b>		<b>\$ 283.075.577</b>		<b>\$ 292.700.146</b>			
<b>COSTOS ADMINISTRATIVOS</b>				2017		2018		2019		2020		2021	
Nombre	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total
Capacitación	2	\$ 224.000	\$ 448.000	\$ 231.616	\$ 463.232	\$ 239.491	\$ 478.982	\$ 247.634	\$ 495.267	\$ 256.033	\$ 512.106	\$ 256.033	\$ 512.106
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 448.000</b>	<b>\$ 463.232</b>		<b>\$ 478.982</b>		<b>\$ 495.267</b>		<b>\$ 512.106</b>			
<b>COSTOS DE VENTAS</b>				2017		2018		2019		2020		2021	
Nombre	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total
Publicidad y promoción	30000	\$ 100	\$ 3.000.000	\$ 103	\$ 3.096.000	\$ 107	\$ 3.195.072	\$ 110	\$ 3.303.704	\$ 114	\$ 3.409.423	\$ 114	\$ 3.409.423
Almacenamiento y bodega	12	\$ 1.000.000	\$12.000.000	\$ 1.032.000	\$ 12.384.000	\$ 1.065.024	\$ 12.780.288	\$ 1.101.235	\$ 13.214.818	\$ 1.136.474	\$ 13.637.692	\$ 1.136.474	\$ 13.637.692
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 15.000.000</b>	<b>\$ 15.480.000</b>		<b>\$ 15.975.360</b>		<b>\$ 16.518.522</b>		<b>\$ 17.047.115</b>			
<b>COSTOS TOTALES</b>			<b>\$ 271.507.436</b>	<b>\$ 280.708.689</b>		<b>\$ 290.221.824</b>		<b>\$ 300.089.366</b>		<b>\$ 310.259.368</b>			

ANEXO 16

A. Componente aire

COMPONENTES Y FACTORES AMBIENTALES				CARACTERÍSTICAS E IMPORTANCIA DEL IMPACTO - EFECTO SOBRE EL COMPONENTE																														
				NATURALEZA		INTENSIDAD (I)				CARÁCTER		EXTENSIÓN (EX)				PERSISTENCIA (PE)		RECUPERABILIDAD (MC)				ACUMULACIÓN (AC)		SINERGÍA (SI)		MOMENTO (MO)		EFECTO (EF)		PERIODICIDAD (PR)				
				Antropico	Natural	Notable o muy alto	Mínimo o bajo	Medio y Alto	Umbral	Positivo	Negativo	Puntual	Parcial	Extenso	Total	Temporal	Permanente	Irreversibles	Reversibles	Mitigables	Irrecuperables	Simple	Acumulativo	Sin sinergismo	Sinérgico	Muy sinérgico	Largo plazo	Medio plazo	Inmediato	Indirecto	Directo	Periódico	Continuo	Irregular y discontinuo
MEDIO POTENCIALMENTE RECEPTOR	AIRE	Calidad del aire	Material particulado	4	2	6	0	0	2	0	6	0	0	0	6	0	6	6	0	1	1	2	4	0	0	6	0	2	4	2	4	1	1	4
			Olores	4	2	6	0	2	2	0	6	1	0	4	1	4	2	6	0	2	0	4	2	0	4	2	0	0	6	2	4	2	0	4
			Gases	6	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0	6	6	0	2	0	0	6	0	0	6	2	2	2	2	4	1	4	1
<b>Subtotal impactos (valor absoluto)</b>				14	4	18	0	2	4	0	18	1	0	4	13	4	14	18	0	5	1	6	12	0	4	14	2	4	12	6	12	4	5	9

B. Componente agua

COMPONENTES Y FACTORES AMBIENTALES				CARACTERÍSTICAS E IMPORTANCIA DEL IMPACTO - EFECTO SOBRE EL COMPONENTE																														
				NATURALEZA		INTENSIDAD (I)				CARÁCTER		EXTENSIÓN (EX)				PERSISTENCIA (PE)		RECUPERABILIDAD (MC)				ACUMULACIÓN (AC)		SINERGÍA (SI)		MOMENTO (MO)		EFECTO (EF)		PERIODICIDAD (PR)				
				Antropico	Natural	Notable o muy alto	Mínimo o bajo	Medio y Alto	Umbral	Positivo	Negativo	Puntual	Parcial	Extenso	Total	Temporal	Permanente	Irreversibles	Reversibles	Mitigables	Irrecuperables	Simple	Acumulativo	Sin sinergismo	Sinérgico	Muy sinérgico	Largo plazo	Medio plazo	Inmediato	Indirecto	Directo	Periódico	Continuo	Irregular y discontinuo
MEDIO POTENCIALMENTE RECEPTOR	AGUA	Aguas superficiales	Cuerpos Lóticos	6	0	4	0	0	2	0	6	4	4	2	4	0	6	6	0	4	4	0	6	0	0	6	6	4	4	2	6	6	1	1
			Cuerpos Lénticos	6	0	4	0	0	2	0	6	2	2	4	4	0	6	6	0	4	4	0	6	0	0	6	6	4	4	2	6	6	1	1
		Aguas subterráneas		6	0	4	0	0	2	0	6	6	1	6	0	0	6	6	0	4	4	0	6	0	0	6	6	4	4	2	6	6	1	1
		Uso del recurso (por actividades económicas)		6	0	6	0	0	0	2	4	0	0	0	6	0	6	6	0	4	2	0	6	0	0	6	6	4	0	0	6	1	6	0
		Calidad del Agua	Cambio de las propiedades físico-químicas	4	2	6	0	0	2	0	6	0	0	0	6	0	6	6	0	4	2	0	6	0	0	6	6	4	2	4	6	0	6	0
<b>Subtotal impactos (valor absoluto)</b>				28	2	24	0	0	8	2	28	12	7	12	20	0	30	30	0	20	16	0	30	0	0	30	30	20	14	10	30	19	15	3

C. Componente suelo

COMPONENTES Y FACTORES AMBIENTALES				CARACTERÍSTICAS E IMPORTANCIA DEL IMPACTO - EFECTO SOBRE EL COMPONENTE																														
				NATURALEZA		INTENSIDAD (I)					CARÁCTER		EXTENSIÓN (EX)				PERSISTENCIA (PE)		RECUPERABILIDAD (MC)				ACUMULACIÓN (AC)		SINERGÍA (SI)		MOMENTO (MO)			EFECTO (EF)		PERIODICIDAD (PR)		
				Antropico	Natural	Notable o muy alto	Mínimo o bajo	Medio y Alto	Umbral	Positivo	Negativo	Puntual	Parcial	Extenso	Total	Temporal	Permanente	Irreversibles	Reversibles	Mitigable	Irrecuperables	Simple	Acumulativo	Sin sinergismo	Snérgico	Muy snérgico	Largo plazo	Medio plazo	Inmediato	Indirecto	Directo	Periódico	Continuo	Irregular y discontinuo
MEDIO POTENCIALMENTE RECEPTOR	SUELO	Calidad del suelo	Erosión	4	2	4	0	0	2	0	6	0	0	6	0	0	6	6	0	4	4	0	6	0	0	6	6	6	2	6	6	0	0	6
			Cambio de las propiedades físico-químicas	4	2	4	0	0	2	0	6	6	6	1	1	2	4	6	0	4	2	0	6	0	0	6	6	6	4	4	6	0	0	6
			Salinización	4	2	4	0	0	2	0	6	6	6	0	0	2	4	6	0	4	2	0	6	0	6	0	6	6	2	4	6	0	0	6
		Subtotal impactos (valor absoluto)			12	6	12	0	0	6	0	18	12	12	7	1	4	14	18	0	12	8	0	18	0	6	12	18	18	8	14	18	0	0

D. Componente biótico

COMPONENTES Y FACTORES AMBIENTALES				CARACTERÍSTICAS E IMPORTANCIA DEL IMPACTO - EFECTO SOBRE EL COMPONENTE																														
				NATURALEZA		INTENSIDAD (I)					CARÁCTER		EXTENSIÓN (EX)				PERSISTENCIA (PE)		RECUPERABILIDAD (MC)				ACUMULACIÓN (AC)		SINERGÍA (SI)		MOMENTO (MO)			EFECTO (EF)		PERIODICIDAD (PR)		
				Antropico	Natural	Notable o muy alto	Mínimo o bajo	Medio y Alto	Umbral	Positivo	Negativo	Puntual	Parcial	Extenso	Total	Temporal	Permanente	Irreversibles	Reversibles	Mitigable	Irrecuperables	Simple	Acumulativo	Sin sinergismo	Snérgico	Muy snérgico	Largo plazo	Medio plazo	Inmediato	Indirecto	Directo	Periódico	Continuo	Irregular y discontinuo
MEDIO POTENCIALMENTE RECEPTOR	SUELO	Calidad del suelo	Erosión	4	2	4	0	0	2	0	6	0	0	6	0	0	6	6	0	4	4	0	6	0	0	6	6	6	2	6	6	0	0	6
			Cambio de las propiedades físico-químicas	4	2	4	0	0	2	0	6	6	6	1	1	2	4	6	0	4	2	0	6	0	0	6	6	6	4	4	6	0	0	6
			Salinización	4	2	4	0	0	2	0	6	6	6	0	0	2	4	6	0	4	2	0	6	0	6	0	6	6	2	4	6	0	0	6
		Subtotal impactos (valor absoluto)			12	6	12	0	0	6	0	18	12	12	7	1	4	14	18	0	12	8	0	18	0	6	12	18	18	8	14	18	0	0



E. Componente paisajístico

COMPONENTES Y FACTORES AMBIENTALES			CARACTERÍSTICAS E IMPORTANCIA DEL IMPACTO - EFECTO SOBRE EL COMPONENTE																														
			NATURALEZA		INTENSIDAD (I)				CARÁCTER		EXTENSIÓN (EX)				PERSISTENCIA (PE)		RECUPERABILIDAD (MC)				ACUMULACIÓN (AC)		SINERGIÍA (SI)		MOMENTO (MO)			EFECTO (EF)		PERIODICIDAD (PR)			
			Antropico	Natural	Notable o muy alto	Mínimo o bajo	Medio y Alto	Umbral	Positivo	Negativo	Puntual	Parcial	Extenso	Total	Temporal	Permanente	Irreversibles	Reversibles	Mitigables	Irrecuperables	Simple	Acumulativo	Sin sinergismo	Snérgico	Muy snérgico	Largo plazo	Medio plazo	Inmediato	Indirecto	Directo	Periódico	Continuo	Irregular y discontinuo
MEDIO POTENCIALMENTE RECEPTOR	PAISAJE	Cambio de colores	4	2	0	0	6	0	2	4	4	4	0	0	6	0	6	0	4	2	0	6	0	4	0	2	4	6	0	6	0	0	2
		Intervención de drenajes	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	6	6	0	2	4	0	6	0	0	6	6	6	6	0	6	0	6	0	
		Alteración del relieve	4	2	6	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	6	0	2	4	0	6	0	0	6	6	6	6	0	6	2	0	4	
<b>Subtotal impactos (valor absoluto)</b>			10	2	12	0	0	0	0	0	0	6	6	0	12	12	0	4	8	0	12	0	0	12	12	12	12	0	12	2	6	4	