

PROPUESTA DE ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS
LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
DEL MUNICIPIO DE SUBACHOQUE

PAULA CAMILA CASTRO SÁNCHEZ
PAULA ANDREA DELGADO GARCIA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ
2020

PROPUESTA DE ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS
LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
DEL MUNICIPIO DE SUBACHOQUE

PAULA CAMILA CASTRO SÁNCHEZ
PAULA ANDREA DELGADO GARCIA

Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO QUÍMICO

Director
PABLO ENRIQUE CUERVO MELO
Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ
2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. David Triviño Rodríguez

Qco. David Leonardo Sotelo Tobón

Bogotá D.C, Febrero de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro:

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos:

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados:

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretaria General:

Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN

Decano Facultad de Ingeniería Química:

Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director de Programa de Ingeniería Química:

Dr. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

DEDICATORIA

A Dios por ser el inspirador, por bendecirme la vida y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados, a mis padres, Orlando y Vivian por su amor, paciencia, trabajo y sacrificio en estos años, gracias a ustedes he cumplido mi sueño y me he convertido en quien soy, a mi hermana Daniela, quien ha sido mi orgullo y motor para llegar hasta aquí, por estar siempre presente y acompañarme, a mi novio Brian por el amor, apoyo y paciencia durante estos años.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañaron en este bonito proceso.

Paula Camila Castro Sánchez

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por darme la oportunidad de culminar una de las etapas más importantes en mi vida, a mis padres por su acompañamiento, a Carmen mi mamá, por ser la guía en cada uno de mis pasos, por su esfuerzo y dedicación, a mi hermana y mi cuñado por guiar mis pasos y carrera, por su apoyo incondicional con cada uno de los procesos en el desarrollo de este trabajo, al principal motor de mi vida, mi hija LUCCIANA, que con su existencia, amor y comprensión, apporto todo para llegar a esta etapa, a mi pareja Daniel, por su acompañamiento incondicional, su amor, entrega y dedicación en esta etapa de mi vida.

Se vuelve muy difícil mencionar a todos a quien quisiera agradecer, por lo que decido darles gracias infinitas a mis familiares, amigos y personas que hicieron parte de este gran proceso.

Paula Andrea Delgado García.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Universidad de América y a los profesores que nos acompañaron durante 5 años, de una manera integral en el crecimiento profesional y personal.

A la empresa Aguas y Aseo de Subachoque, por haber permitido el ingreso a las instalaciones y posterior aporte al desarrollo del proceso investigativo, a los operadores de planta que siempre estuvieron dispuestos a colaborar, aportando su experiencia técnica y conceptual de manera incondicional e imprescindible, al ingeniero ambiental Rigoberto Enciso por haber facilitado los recursos para el desarrollo de este proyecto.

Al Ingeniero Químico Pablo Enrique Cuervo Melo, nuestro Director, por haber atendido constantemente el desarrollo del proyecto, con acompañamientos y aportes para la mejora de este.

Finalmente, a todas las personas que de una u otra forma intervinieron en la elaboración de este trabajo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. GENERALIDADES	24
1.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	24
1.2 COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN	25
1.2.1 TIPOS DE COAGULANTES.	26
1.3 PRODUCCIÓN DE LODOS	27
1.3.1 TRATAMIENTO DE LODOS.	28
1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS	29
1.5 INSUMO DE CULTIVO Y MEJORAMIENTO DE SUELO	31
1.5.1 PARÁMETROS DE SEGUIMIENTO.	32
1.5.2 PRUEBAS DE GERMINACIÓN.	35
1.6 RECUPERACIÓN DE COAGULANTE	35
1.6.1 ENSAYO DE JARRAS.	38
1.7 MATRIZ DE SELECCIÓN	38
1.8 DISEÑO DE EXPERIMENTOS	39
1.9 MARCO LEGAL	40
2. DIAGNÓSTICO	42
2.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN	42
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	43
2.3 MUESTREO DE LODO	48
2.4 CARACTERIZACIÓN DEL LODO	50
2.4.1 RESULTADOS CARACTERIZACIÓN IGAC.	50
2.4.2 COMPARACIÓN RESULTADOS CON DECRETO 1287 DE 2014.	53
2.5 CUANTIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LODO	54
2.5.1 CUANTIFICACIÓN DE PLANTA.	54
2.5.2 CUANTIFICACIÓN TEÓRICA.	54
2.5.3 REACCIÓN ESTEQUIOMÉTRICA.	57
2.5.4 COMPARACIÓN RESULTADOS PRODUCCIÓN LODO SECO.	57
3. ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO	59
3.1 IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS	59
3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN	60
3.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	61
4. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS	64
4.1 INSUMO DE CULTIVO Y MEJORAMIENTO DE SUELO	64
4.1.1 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DE SEGUIMIENTO.	64
4.1.2 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE GERMINACIÓN.	65
4.1.3 DESARROLLO EXPERIMENTAL.	67

4.1.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	73
4.2	RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO	78
4.2.1	PRUEBA DOSIFICACIÓN COAGULANTE EN AGUA RESIDUAL.	78
4.2.2	DESARROLLO EXPERIMENTAL.	79
4.2.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	82
5.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	85
5.1	SECADO	87
5.2	TRITURACIÓN	88
5.3	TAMIZADO	89
5.4	PESAJE Y EMPAQUE	90
6.	ANÁLISIS DE COSTOS	92
6.1	COSTOS OPERACIONALES U OPEX	92
6.1.1	MANO DE OBRA.	92
6.1.2	LABORATORIO.	92
6.1.3	SERVICIOS PÚBLICOS.	92
6.1.4	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS.	93
6.1.5	COSTO DEL PRODUCTO.	93
6.2	COSTOS DE CAPITAL O CAPEX	94
6.2.1	COSTOS DE EQUIPOS.	94
6.2.2	COSTOS DE ADECUACIÓN.	95
7.	CONCLUSIONES	96
8.	RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFIA	98
	ANEXOS	102

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Valores máximos permisibles de biosólidos para su uso.	30
Tabla 2. Límite de contaminantes para la aplicación de lodos en suelo.	32
Tabla 3. Efecto de pH en suelos.	33
Tabla 4. Matriz Pugh.	39
Tabla 5. Parámetros lodo húmedo.	49
Tabla 6. Resultados caracterización de lodo IGAC.	52
Tabla 7. Comparación decreto 1287 de 2014 y resultados IGAC.	53
Tabla 8. Eficiencias de remoción de los clarificadores primarios.	55
Tabla 9. Cantidad de lodo.	57
Tabla 10. Selección de alternativas mediante metodología Pugh.	63
Tabla 11. Parámetros de seguimiento.	65
Tabla 12. Resultados ensayo de germinación.	67
Tabla 13. Combinaciones para los niveles.	68
Tabla 14. Longitud plántulas Cilantro Patimorado en centímetros.	69
Tabla 15. Longitud plántulas de la Lechuga Simpson en centímetros.	71
Tabla 16. Longitud plántulas Zanahoria Chantenay en centímetros.	72
Tabla 17. ANOVA Cilantro Patimorado.	73
Tabla 18. ANOVA Lechuga Simpson.	75
Tabla 19. ANOVA Zanahoria Chantenay.	76
Tabla 20. Volumen de coagulante.	79
Tabla 21. Dosificación lodo húmedo coagulante.	80
Tabla 22. Turbidez final lodo húmedo-coagulante (en NTU).	81
Tabla 23. Porcentaje de remoción de turbidez.	81
Tabla 24. ANOVA recuperación de sulfato de aluminio.	82
Tabla 25. Costos de energía.	93
Tabla 26. Costos mantenimiento.	93
Tabla 27. Costo anual alternativa.	94
Tabla 28. Costos de equipos.	94
Tabla 29. Costos de adecuación lechos de secado.	95

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Zonas de coagulación para dosis de sulfato de aluminio a distinto pH.	37
Figura 2. Ubicación espacial Planta de tratamiento agua potable Llanitos.	42
Figura 3. Pantano de Arce.	44
Figura 4. Quebrada los Colorados.	44
Figura 5. Planta de tratamiento agua potable Llanitos.	45
Figura 6. Canaleta Parshall.	45
Figura 7. Sedimentadores tipo colmena.	46
Figura 8. Lechos filtrantes.	46
Figura 9. Tanque de almacenamiento.	47
Figura 10. Lechos de secado.	47
Figura 11. Recolección de lodos en lechos de secado PTAP Llanitos.	48
Figura 12. Muestras de lodo húmedo.	49
Figura 13. Lodo seco.	50
Figura 14. Muestra lodo a caracterizar.	51
Figura 15. Prueba de germinación de semillas.	66
Figura 16. Suelo- cascarilla de arroz.	67
Figura 17. Muestra plántula Cilantro Patimorado.	69
Figura 18. Muestra plántula Lechuga Simpson.	70
Figura 19. Muestra plántula Zanahoria Chantenay.	72
Figura 20. Ensayo de jarras lodo húmedo-coagulante.	80
Figura 21. Diseño cubierta de lechos.	87
Figura 22. Triturador TR200.	88
Figura 23. Tamiz rotativo.	89
Figura 24. Sacos de polipropileno.	90
Figura 25. Báscula.	90
Figura 26. Maquina cosedora-cerradora.	91

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Capacidad de intercambio catiónico para nutrición de plantas.	34
Cuadro 2. Marco legal para el uso y disposición de biosólidos.	41
Cuadro 3. Pruebas en laboratorio IGAC.	51
Cuadro 4. Alternativas para el uso de biosólidos.	59
Cuadro 5. Interpretación de valores matriz de selección.	62
Cuadro 6. Condiciones de semillas.	66
Cuadro 7. Variables para insumo de cultivo y mejoramiento de suelo.	68
Cuadro 8. Variables recuperación sulfato de aluminio.	79

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Determinación de materia orgánica.	33
Ecuación 2. Relación Carbono-Nitrógeno.	35
Ecuación 3. Producción de lodo CONAGUA.	55
Ecuación 4. Producción de lodo RAMIREZ.	56
Ecuación 5. Producción de lodo ROZO & SUTA.	56

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Proceso de potabilización PTAP Llanitos.	pág. 43
Diagrama 2. Diagrama de proceso de la alternativa.	86

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Gráfica 1. Crecimiento Cilantro Patimorado.	74
Gráfica 2. Crecimiento Lechuga Simpson.	75
Gráfica 3 Crecimiento Zanahoria Chantenay.	77
Gráfica 4. Comparativo crecimiento plántulas.	77
Gráfica 5. Recuperación de sulfato de aluminio.	83
Gráfica 6. Ensayo coagulación y diseño experimental coagulante-lodo.	84

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Resultados caracterización del lodo laboratorio IGAC	103
Anexo B. Cálculos de la producción de lodo	123
Anexo C. Cálculo volumen para la dosificación de coagulante en agua residual	125
Anexo D. Resultados pruebas de dosificación de coagulante en agua residual	127
Anexo E. Parámetros recuperación sulfato de aluminio	128

GLOSARIO

AGUA POTABLE: aquella que cumple con las características físicas, químicas y microbiológicas, establecidas en la normatividad colombiana, es apta para consumo humano¹.

AGUA RESIDUAL: agua procedente de los hogares, instalaciones que desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios.²

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS: utilización de residuos mediante actividades como separación en la fuente, recuperación, transformación y reúso de los mismos.³

BIOSÓLIDO: producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso.⁴

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS: estudio y determinación de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los residuos.⁵

CAUDAL: cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo.⁶

COAGULACIÓN: aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.⁷

COLOIDES: sólidos finamente divididos (que no disuelven) que permanecen dispersos en un líquido por largo tiempo debido a su menor diámetro y a la presencia de una carga eléctrica en su superficie.⁸

¹ MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL COLOMBIA, "DECRETO 1575 DE 2007," 2007, https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Decreto1575_20070509.htm.

² GABRIELA VASQUEZ ALEMAN, JUAN PABLO; VARGAS MARTINEZ, "APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE FUNZA, COMO INSUMO DE CULTIVO Y MEJORAMIENTO DEL SUELO," 2018, 90.

³ MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE COLOMBIA, "DECRETO 2676 DE DICIEMBRE DE 2000," no. diciembre 22 (2000): 13, <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Decreto-2676-de-2000.pdf>.

⁴ CIUDAD Y TERRITORIO COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, "0330 - 2017," 2017, <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf>.

⁵ MARÍA CAMILA TORRES CORTÉS, "PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PTAR DE LA EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA," *ABA Journal* 102, no. 4 (2017): 24–25, <https://doi.org/10.1002/ejsp.2570>.

⁶ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, "0330 - 2017."

⁷ DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, "REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO," 2000.

DESHIDRATACIÓN DE LODOS: proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta sólida.⁹

DISPOSICIÓN FINAL: disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados.¹⁰

DOSIFICACIÓN: acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua.¹¹

DOSIS ÓPTIMA: concentración que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico.¹²

EFICIENCIA DE REMOCIÓN: medida de la efectividad de un proceso en la remoción de una sustancia específica.¹³

FLOCULACIÓN: aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.¹⁴

IMPACTO AMBIENTAL: afectación del entorno ocasionada por la realización de una obra.¹⁵

LECHO DE SECADO: método de deshidratación de lodos compuesto por celdas de secado que separa la parte líquida de la sólida, disponiendo el efluente líquido a un curso de agua y los sólidos secos para darle alguna disposición.¹⁶

LODOS: suspensión de un sólido en un líquido proveniente de los procesos de potabilización o del tratamiento de aguas residuales municipales.¹⁷

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: productos, subproductos y materias primas empleados en la fabricación de edificaciones y obras civiles.¹⁸

⁸ COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO.

⁹ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, "0330 - 2017."

¹⁰ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA.

¹¹ COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, "REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO."

¹² COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO.

¹³ COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO.

¹⁴ COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO.

¹⁵ COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO.

¹⁶ ING. SHEILA C.S.S., "LECHOS DE SECADO DE LODOS RESIDUALES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS," 2018, <https://civilgeeks.com/2018/03/17/lechos-secado-lodos-residuales-tratamiento-aguas/>.

¹⁷ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, "0330 - 2017."

¹⁸ E-CONSTRUIR, "LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION," 2019, <http://e-construir.com/materiales/>.

pH ÓPTIMO: valor de pH que produce la máxima eficiencia en un proceso determinado.¹⁹

PLANTA DE POTABILIZACIÓN: conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.²⁰

PLANTACIONES FORESTALES: bosques que se han originado por medio de plantación de árboles de una misma especie o combinaciones con otras, efectuadas por el ser humano.²¹

TURBIEDAD: propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.²²

VALORIZACIÓN ENERGÉTICA: conversión de aquellos residuos que no pueden ser reciclados en energía, ya sea en forma de electricidad, vapor o agua caliente para uso doméstico o industrial.²³

ZONAS VERDES: lugar acondicionado con hierba, flores, árboles, bancos u otros elementos.²⁴

¹⁹ COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, “REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO.”

²⁰ COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO.

²¹ MINISTERIO DE AGRICULTURA GOBIERNO DE CHILE (CONAF) CHILE, “PLANTACIONES FORESTALES,” 2011, <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/plantaciones-forestales/>.

²² COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, “REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO.”

²³ AEVERSU, “VALORIZACIÓN ENERGÉTICA,” 2019, <https://aever-su.org/valorizacion-energetica/>.

²⁴ INSTITUTO VASCO DE ESTADISTICA, “ZONA VERDE,” 2019, https://www.eustat.eus/documentos/opt_0/tema_445/elem_1795/definicion.html.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la empresa Aguas y Aseo de Subachoque, la cual se encarga de prestar los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, en el municipio. La empresa cuenta con una planta de potabilización de agua nombrada Llanitos, la cual luego del retrolavado de sedimentadores y filtros, genera lodos que se originan de las partículas en suspensión del agua captada, los cuales son recolectados en los lechos de secado que se encuentran a un costado de la misma, luego del proceso de deshidratación los lodos son vertidos a los terrenos aledaños a la planta, generando un incumplimiento en la disposición de residuos.

Inicialmente se realizó un diagnóstico de la producción de lodos en la planta, comparando diferentes metodologías, se pudo determinar que se generan alrededor de 26.78 kg/d de lodo seco, el cual fue enviado a caracterizar a un laboratorio externo en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, reportando resultados satisfactorios para clasificar el lodo de acuerdo al Decreto 1287 de 2014 en la categoría A, siendo un residuo no peligroso; luego de la caracterización se evaluaron las alternativas descritas en dicho decreto para esa categoría, por medio de una matriz de selección y haciendo uso de la metodología Pugh se determinaron dos alternativas a evaluar, las cuales fueron insumo de cultivo y mejoramiento de suelo y recuperación de coagulante de aluminio.

Las alternativas fueron desarrolladas haciendo uso de diseños de experimentos, que en ambos casos generaron resultados apropiados, en donde el lodo pudo ser aprovechado de acuerdo a sus características.

Buscando aprovechar la mayor cantidad de residuo, se compararon las dos alternativas y se decidió realizar las especificaciones técnicas en insumo de cultivo y mejoramiento de suelo, dado que Subachoque se caracteriza por ser un municipio de producción agrícola y ganadera, de manera que dicha alternativa genera un beneficio común entre la población y la empresa.

Las especificaciones técnicas realizadas tuvieron en cuenta los procesos unitarios para la ejecución del proyecto, a su vez el dimensionamiento de equipos y adecuaciones necesarias para la implementación.

Finalmente se realizó un análisis de costos, teniendo en cuenta la mano de obra, laboratorios, servicios públicos, precio y mantenimiento de equipos y adecuaciones de la planta, determinando así los costos de producción y de capital, estimando un valor comercial para el producto generado.

PALABRAS CLAVE: Coagulación, lodos, aprovechamiento, residuos, PTAP.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las plantas de potabilización no cuentan con un sistema de tratamiento de lodos, por lo que generalmente estos son depositados sin un procedimiento previo a lagos, cuencas, ríos y fuentes cercanas contaminando la fauna y flora del ecosistema²⁵, sin ver el potencial de aprovechamiento que se le puede dar al residuo tratado y las diferentes disposiciones.

Aunque es escasa la información acerca de las aplicaciones para el aprovechamiento de los residuos generados en plantas de tratamiento de agua, el decreto 1287 de 2014, “Tiene por objeto establecer los criterios para el uso de los biosólidos producidos a partir de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”, resaltando el artículo 8 donde se estudian las alternativas de uso de los biosólidos dependiendo de su categoría.

Este proyecto se lleva a cabo buscando un beneficio común entre la empresa y la población de este municipio, a partir de una alternativa que disminuya el impacto ambiental generado por la inadecuada disposición de los residuos, otorgando a la empresa Aguas y Aseo de Subachoque la oportunidad de implementar dicha propuesta y así convertirse en una de las plantas pioneras en Colombia en la instauración y desarrollo de procesos de tratamiento y aprovechamientos de lodos.

El proyecto se desarrolla en el campo de la ingeniería química, buscando la transformación y aprovechamiento de residuos con componentes químicos, para ser reutilizados de manera amigable, por medio de conocimientos básicos y de ingeniería en áreas específicas como procesos químicos, diseño de procesos, balance de materia, diseño de plantas y operaciones con sólidos, con el propósito de crear procesos industriales mejores y más rentables.

²⁵ CIUDAD Y TERRITORIO COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, “DECRETO NUMERO 1287,” 2014, 15.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para el aprovechamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Subachoque.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la generación actual de lodos.
- Seleccionar la alternativa de aprovechamiento por medio de un desarrollo experimental.
- Establecer las especificaciones técnicas de la alternativa seleccionada.
- Realizar un análisis de costos de la alternativa propuesta.

1. GENERALIDADES

1.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

El proceso de potabilización de agua, se lleva a cabo por medio de una serie de etapas continuas, con el objetivo de cumplir parámetros fisicoquímicos y microbiológicos descritos por la ley para consumo humano²⁶.

Los procesos que constituyen la potabilización convencional del agua son:

Captación: el agua cruda es tomada de diferentes fuentes hídricas, las cuales pueden ser subterráneas o superficiales.

Desarenación: mecanismo que se utiliza con el fin de retirar las arenas suspendidas del agua, evitando dañar las bombas y tuberías.

Aireación: proceso por el cual se remueven los gases disueltos, se oxidan minerales, se reduce el dióxido de carbono logrando la elevación del pH y se retiran olores y sabores.

Coagulación: etapa en la cual se adiciona al agua una sustancia química, usualmente sales de alumbre o de hierro, capaces de desestabilizar las partículas suspendidas en el agua. En esta etapa se da la mezcla rápida en donde el agua combinada con el coagulante, es sometida a un cambio de velocidad aumentando su turbulencia, con el fin de lograr una mezcla completa.

Floculación: etapa que facilita la eliminación de sustancias en suspensión o coloides, aglomerando las partículas desestabilizadas previamente en la adición del coagulante, formando sólidos de mayor densidad que posteriormente se sedimentarán.

Sedimentación: etapa en la cual se deja reposar el agua, con el fin de que los floculos formados en la fase anterior se depositen en el fondo de las unidades sedimentadoras.

Filtración: es una de las etapas más importantes, tiene la finalidad de eliminar las partículas y microorganismos que no fueron retenidos en etapas previas. Usualmente los lechos filtrantes, están compuestos por capas de antracita, grava y arena para retener los sólidos más diminutos.

Desinfección: se realiza adicionando cloro gaseoso para eliminar los microorganismos presentes en el agua y asegurar la calidad de esta.

²⁶ MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL COLOMBIA, "RESOLUCION 000082/2009," 2009.

Estabilización: se realiza con el fin de ajustar el pH a la normatividad que rige las plantas de tratamiento de agua potable en Colombia, usualmente se emplea cal en solución.

Almacenamiento y distribución: son las últimas etapas, donde el agua tratada es recolectada y bombeada por medio de tuberías a toda la población.

Control de calidad: para garantizar la calidad del agua, se realizan análisis periódicos durante el tratamiento y luego de este.

1.2 COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN

El agua cruda, contiene diferentes partículas disueltas y en suspensión con carga aniónica las cuales se repelen entre sí, estas son provenientes de los suelos, materiales orgánicos y disoluciones de sustancias minerales.

Los sólidos presentes se caracterizan por su tamaño, siendo los más grandes de fácil sedimentación, mientras que los más pequeños son conocidos como coloides, responsables de la turbiedad y el color del agua.

Para neutralizar las cargas aniónicas presentes en el agua, se requiere de una sustancia química que desestabilice las partículas y rompa las fuerzas de repulsión, logrando que estas se aglutinen y formen el floc, con el tamaño y peso suficiente para su sedimentación.

Existen diferentes factores a tener en cuenta en el proceso de coagulación, como se describe en el libro *Tratamiento físico-químico de aguas residuales*²⁷, los cuales son:

- pH: para llevar a cabo el proceso de coagulación se deben tener en cuenta los rangos óptimos de pH, tanto para los coagulantes de sales de aluminio como para los de hierro, considerando el rango de pH de 6.5 a 8.0 y de 5.5 a 8.5 respectivamente. Esta variable depende de los iones y de la alcalinidad del agua, convirtiéndolo en el parámetro más importante.
- Turbidez: parámetro que mide el efecto de la dispersión de las partículas al paso de la luz, en función del número, tamaño y forma de estas, para cada turbidez existe una dosis de coagulante óptima, la cual logra la mejor remoción.

²⁷ J.F. AGUILAR, M.I.; SAEZ, J.; LLORENS, M.; SOLER, A.; ORTUÑO, *TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES* (España: Universidad de Murcia, 2002), <https://books.google.com.co/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&dq=coagulacion+y+floculacion&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjNw6mauaPkAhUJnlkKHf3LB6cQ6AEIKDAA#v=onepage&q=coagulacion+y+floculacion&f=false>.

- Tipo de coagulante: es necesario realizar una comparación experimental por medio de un test de jarras, para determinar el mejor coagulante en el rango de pH óptimo para cada tipo de agua.
- Condiciones de mezcla: se debe tener en cuenta la fuerza de agitación, que en primera instancia consiste en una mezcla rápida, con el fin de dispersar el coagulante en el agua y aumentar las colisiones de las partículas, seguido de una mezcla lenta, con el propósito de aglomerar las partículas proporcionando un peso adecuado para su precipitación.

1.2.1 Tipos de coagulantes. Como se mencionó anteriormente, para el proceso de coagulación se requiere de una sustancia que desestabilice las partículas del agua, existen tres tipos de coagulantes, clasificados según el libro *Agua: su calidad y tratamiento*²⁸.

- Agentes de coagulación: son sustancias químicas conocidas como sulfatos o cloruros, que pueden ser de aluminio o hierro, diferenciándose por el contenido de estos compuestos, el rango óptimo de pH y su dosificación. Los agentes de coagulación son:
 - Sulfato de aluminio: también llamado sulfato de alúmina o alumbre de filtración, con una concentración mínima de 17% de óxido de aluminio soluble en agua y máxima de 0.75% de óxido de hierro, así como lo especifica la *American Water Works Association (A.W.W.A.)*²⁹.

Existen dos tipos de sulfatos de aluminio granulares, los cuales se diferencian principalmente por su contenido de hierro, el sulfato de aluminio tipo A tiene un contenido de Fe < 0.5 % y es de color blanco, mientras que el sulfato de aluminio tipo B tiene un contenido de Fe < 1.5 % y es de color marrón; este coagulante es el más utilizado para los procesos de potabilización, trabajando en aguas con baja turbiedad, en un intervalo ácido a un pH mínimo de 5.

- Sulfato ferroso: usado en el tratamiento de agua en forma de cristales o gránulos, también llamados caparrosa o vitriolo, es un polvo cristalino verde azulado, utilizado simultáneamente con cal para alcalinizar el agua y obtener un pH básico de 8.5, formando los flóculos de óxido férrico y garantizando la reacción que implica la oxidación del oxígeno disuelto en el agua.

²⁸ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, *AGUA: SU CALIDAD Y TRATAMIENTO* (Mexico, 1968).

²⁹ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, "STANDARD FOR ALUMINIUM SULFATE-LIQUID, GROUND, OR LUMP," *AWWA Catalog*, 1999.

- Caparrosa clorada: se prepara oxidando el sulfato ferroso con cloro, formando una solución de sulfato férrico y cloruro férrico. La proporción adecuada para la solución es: por cada kilogramo de cloro, 7.8 kilogramos de sulfato ferroso.
- Sulfato férrico: también llamado ferrisol o ferrifloc, su composición es mínimo del 90% de Sulfato de hierro (III) cuando es anhidro y mínimo de 60% cuando es cristalino; el hierro debe estar en 1% y las sustancias insolubles en el agua en 4%.
- Cloruro férrico: en el tratamiento de aguas se usa en una solución de 42% en forma líquida o como sólido anhídrido. Este tipo de coagulante es muy utilizado porque trabaja en un amplio rango de pH desde 4.5 a 12. Eliminando fosfatos con una eficiencia del 95% y actuando sobre los sulfuros, evitando la formación del ácido sulfhídrico.
- Aluminato de sodio: a partir de la disolución de alúmina en exceso de hidróxido de sodio; su composición usualmente es de mínimo 1.2 moléculas de óxido de sodio por cada molécula de óxido de aluminio.
- Ayudantes de coagulación: son usados cuando el efluente requiere un tratamiento más complejo y no se logra la desestabilización de todas las partículas suspendidas con el agente coagulante; los ayudantes de coagulación más comunes son:
 - Álcalis y ácidos: se usan para que el pH del agua se sitúe en la zona óptima para flocular. Los álcalis más usados son la cal y la soda cáustica, mientras que los ácidos que se utilizan son el ácido sulfúrico y el ácido fosfórico, sin embargo los ácidos tienen un costo elevado y por esta razón, en algunas plantas se quema azufre para producir ácido sulfuroso por absorción del dióxido de azufre.
 - Sílice activada: uno de los ayudantes de coagulación más antiguo y eficiente, se hace a partir de silicato de sodio, que es activado en soluciones de silicato de sosa. Hoy en día la sílice se activa haciendo uso de alumbre, sulfato de amoníaco, cloro o dióxido de carbono.
- Coagulantes naturales: son producidos de manera natural, se pueden encontrar en plantas, algas o animales, son biodegradables y no generan daños al medio ambiente. Este tipo de coagulante ayuda en la economía de la planta de potabilización ya que ahorra en costos de productos químicos.

1.3 PRODUCCIÓN DE LODOS

En los procesos de potabilización se generan diferentes residuos provenientes de las fuentes de captación, el tipo de tratamiento, la composición del agua cruda y la calidad de la potabilizada, los residuos provienen principalmente de los procesos de sedimentación, en donde se produce aproximadamente entre el 60% y 70% de

los sólidos totales, y del proceso de filtración con una producción alrededor de 30% a 40% de sólidos, como esta descrito en el proyecto *Propuesta metodológica para tratamiento de lodos provenientes de plantas de potabilización en la Sabana de Bogotá*³⁰.

El lodo se origina a partir de la desestabilización de los sólidos disueltos en el agua cruda, esa perturbación es efectiva con la ayuda de un agente coagulante, apilando las partículas, logrando el aumento de su densidad y tamaño, para que finalmente por efecto de la gravedad puedan sedimentar.

1.3.1 Tratamiento de lodos. Así como se reglamenta en el artículo 125 de la resolución 0330 del 2017³¹, todos los lodos deben ser sometidos a un tratamiento que incluye técnicas de homogeneización, espesamiento y deshidratación. Estas técnicas pueden realizarse haciendo uso de diferentes tipos de equipos, como se describe en el documento *Lodos producidos en el tratamiento del agua potable*³², tanto las técnicas como los equipos utilizados se describen a continuación:

- Homogeneización: dado que los lodos son retirados de manera intermitente y las concentraciones varían, es necesario hacer una recolección de los mismos, con el fin de almacenar cantidades suficientes para posteriormente mezclarlos y lograr una concentración homogénea, garantizando características similares en estos.
- Espesamiento: por el alto porcentaje de humedad, debido a la cantidad de agua retenida en los lodos, se considera que estos son de baja concentración, por lo que existe la necesidad de concentrar los sólidos presentes haciendo una separación de fases, este proceso se puede realizar mediante espesamiento por gravedad, en donde los lodos se precipitan por la acción de esta, dejando el agua clarificada en la parte superior, la cual puede ser retirada fácilmente.

Otra manera de realizar el proceso de espesamiento, es por medio de la flotación de los flóculos, en donde se inyectan los lodos a tratar acompañados de una corriente de aire, con el fin de crear pequeñas burbujas que se adhieran a los flóculos, el lodo flotante y espesado es retirado por medio de rasquetas.

- Deshidratación: es una operación física que puede ser de manera natural o mecánica, con el fin de reducir el contenido de humedad presente en los lodos y así mismo su volumen. Entre los sistemas mecánicos se encuentra la

³⁰ JOSE NICOLAS RODRIGUEZ TORRES, "PROPUESTA METODOLOGICA PARA TRATAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE POTABILIZACION EN LA SABANA DE BOGOTÁ (ESTUDIO DE CASO MADRID, CUNDINAMARCA)," *Instname:Universidad Libre*, 2018.

³¹ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, "0330 - 2017."

³² FRANCISCO RAMIREZ, "LODOS PRODUCIDOS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE," *Técnica Industrial*, 2008, 46–52.

centrifugación, que se basa en la fuerza centrífuga para la separación de la fase sólida (lodo) y líquida (agua).

Por otro lado los filtros de prensa son una serie de placas rectangulares cubiertas por telas filtrantes ubicadas verticalmente sobre un bastidor, este conjunto es sometido a presiones elevadas del orden de 300 atmósferas por medio de un dispositivo hidráulico; así mismo se tiene el filtro de banda donde el lodo se alimenta simultáneamente con una sustancia química, vertiéndolos sobre una banda continua de tela filtrante, la cual es llevada a través de rodillos giratorios, en donde los lodos son comprimidos y secados.

La deshidratación por sistemas naturales se hace por medio de lechos de secado, en donde los lodos se hacen pasar por medio de capas de grava o arena, produciendo una filtración y la deshidratación de los mismos por evaporación, siendo ésta producto de condiciones climáticas.

1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS

Dado que la producción de lodos es consecuencia del tratamiento que se hace al agua, las características de estos, dependen del tipo de coagulante que se use para la potabilización.

El *decreto 1287 del 2014 del Ministerio de vivienda y territorio*³³, establece los valores máximos permisibles para la clasificación de los lodos de acuerdo con la Tabla 1.

Se debe tener en cuenta que este decreto está establecido para los biosólidos generados en plantas de tratamiento de agua residual, pero se tuvo presente para la caracterización y elección de alternativas de los lodos producidos en las plantas de potabilización con tratamiento químico.

³³ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, "DECRETO NUMERO 1287."

Tabla 1. Valores máximos permisibles de biosólidos para su uso.

Criterio	Variable	Unidad de medida	Categoría valores máximos permisibles	
			A	B
QUIMICOS – METALES	Arsénico (As)	mg / Kg de biosólidos (Base seca)	20	40
	Cadmio (Cd)		8	40
	Cobre (Cu)		1000	1750
	Cromo (Cr)		1000	1500
	Mercurio (Hg)		10	20
	Molibdeno (Mb)		18	75
	Níquel (Ni)		80	420
	Plomo (Pb)		300	400
	Selenio (Se)		36	100
	Zinc (Zn)		2000	2800
MICROBIOLOGICOS	Coliformes fecales	Unidades formadoras de colonias UFC/g de biosólidos (Base seca)	< 1.00 E (+3)	< 2.00 E (+6)
	Huevos de Helmitos viables	Huevos de Helmito viables / 4 g de biosólidos (Base seca)	< 1.0	< 10.0
	Salmonella sp.	Unidades formadoras de colonias UFC / 25 g de biosólidos (Base seca)	Ausencia	< 1.00 E (+3)
	Virus Entéricos	Unidades formadoras de placas UFP/ 4 g de biosólidos (Base seca)	< 1.0	

Fuente: MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 de 2014. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf>³⁴.

³⁴ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA.

1.5 INSUMO DE CULTIVO Y MEJORAMIENTO DE SUELO

La aplicación de lodo como acondicionador del suelo en la agricultura, terrenos alterados, plantaciones forestales y zonas verdes, mejoran las condiciones físicas de éste, facilitando el transporte de nutrientes, aumentando la retención de agua y aportando elementos esenciales para la vida vegetal.

En la agricultura es necesario definir el tipo de semilla que se quiere cultivar, el espacio en el que se va a realizar el cultivo y la preparación del suelo, a estos se les puede agregar sustratos y abonos, los primeros encargados de mejorar las características físicas y dar soporte a la planta, mientras que los abonos proporcionan nutrientes que enriquecen el suelo y el crecimiento de la planta.

De acuerdo con en el documento *Innovative reuse of drinking water sludge in geo-environmental applications*³⁵, se realizó un análisis de los componentes químicos de los lodos y su uso, determinando que los lodos provenientes de los tratamientos de agua con coagulantes de aluminio, tienen altos contenidos de humedad y baja actividad biológica, presentando altas cantidades de limo y arcilla con bajos porcentajes de arena, lo que hace referencia a un gran contenido de aniones aumentando la capacidad de intercambio catiónico, aportando propiedades nutricionales al suelo.

La mayoría de características fisicoquímicas analizadas, no presentaron toxicidad para la implementación en suelos, diferenciándose de las altas concentraciones de aluminio proveniente del tipo de coagulante que se utiliza en el tratamiento, durante el estudio se determinó que la mezcla entre suelo y lodo contribuyo a las características del suelo, generando un óptimo crecimiento en las plantas y la vegetación.

Existen diferentes condiciones que deben ser evaluadas para poder definir si los lodos pueden ser utilizados en suelos, en el documento *Land Application of Sewage Sludge*³⁶, realizado por la *Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (EPA)* en 1994, estableció los valores límites permisibles de metales (Tabla 2), de los cuales el *Decreto 1287 de 2014*³⁷ se basó para poder hacer la clasificación de los lodos.

³⁵ Caniani, Masi, Mancini, & Trulli, 2013

³⁶ MIN JIAN WANG, "LAND APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE IN CHINA," *Science of the Total Environment* 197, no. 1–3 (1997): 149–60, [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)05426-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)05426-0).

³⁷ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, "DECRETO NUMERO 1287."

Tabla 2. Límite de contaminantes para la aplicación de lodos en suelo.

Contaminante	Concentración límite (mg/kg)
Arsénico	75
Cadmio	85
Cromo	3000
Cobre	4300
Plomo	840
Mercurio	57
Molibdeno	75
Níquel	420
Selenio	100
Zinc	7500

Fuente: elaboración propia, con base en: United States Environmental and Protection Agency. Land Application of Sewage Sludge. 1994. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-11/documents/land-application-sewage-sludge.pdf>³⁸.

1.5.1 Parámetros de seguimiento. De acuerdo con el libro titulado *Interpretación de Análisis de suelos*³⁹, se deben considerar los siguientes parámetros para el aprovechamiento de los lodos en el uso de suelos:

- **pH:** parámetro químico que mide el grado de acidez del suelo, considerando valores entre 0 y 14, siendo ácidos todos aquellos con valores inferiores a 7, suelos neutros con valor de 7 y suelos alcalinos con un pH mayor al valor neutro. Este valor afecta directamente la disponibilidad de los elementos y el crecimiento de los cultivos en el suelo, como muestra la Tabla 3.

La mayor parte de los cultivos presentan mejor desarrollo en valores cercanos a un pH de 7 siendo estos suelos neutros, en donde los elementos nutritivos se encuentran fácilmente disponibles y en un equilibrio adecuado.

³⁸ WANG, "LAND APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE IN CHINA."

³⁹ LUIS FUENTES AGUILAR, "INTERPRETACION Y ANALISIS DE SUELOS," *Investigaciones Geográficas* 1, no. 4 (1971), <https://doi.org/10.14350/rig.58865>.

Tabla 3. Efecto de pH en suelos.

Valores	Rango	Interpretación General
Muy alto	>8.5	Suelos alcalinos: El Ca y Mg no están disponibles; tal vez la concentración de Na sea alta; posible toxicidad de B.
Alto	7-8.5	Decrementa la disponibilidad de P y B. Arriba de 7.0 se incrementa la deficiencia de Co, Cu, Fe, Mn y Zn.
Medio	5.5-7	Rango preferido por muchos cultivos; masa debajo de este rango comienza a ser muy ácido para algunas plantas.
Bajo	<5.5	Suelos ácidos: posible toxicidad de Al y exceso de Co, Cu, Fe, Mn, Zn; deficiencia de Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Con pH debajo de 5 se presenta deficiencia de B.

Fuente: Vásquez. J., & Vargas. G. Aprovechamiento de lodos planta de tratamiento de aguas residuales municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo. 2018⁴⁰.

- **Materia orgánica:** proviene de los restos vegetales y animales, siendo clave en la fertilidad de los suelos, aportando nutrientes a las plantas y proporcionando una fuente de energía para los microorganismos, lo que aumenta la retención de humedad y es determinante en la capacidad de intercambio catiónico.

El contenido de materia orgánica se calcula por medio de la expresión presentada en la Ecuación 1.

Ecuación 1. Determinación de materia orgánica.

$$\%Materia\ orgánica = \%C_{orgánico} \times 1.72$$

Fuente: Revista mexicana de ciencias forestales. Vol. 9. 2017. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v9n46/2007-1132-remcf-9-46-4.pdf>⁴¹.

⁴⁰ VASQUEZ ALEMAN, JUAN PABLO; VARGAS MARTINEZ, "APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE FUNZA, COMO INSUMO DE CULTIVO Y MEJORAMIENTO DEL SUELO."

- **Capacidad de intercambio catiónico:** es la capacidad de absorción y retención de iones positivos que puede adquirir el suelo, el cual está compuesto por arcillas y materia orgánica con carga aniónica, que por su diferencia de cargas atraen los cationes, permitiendo retener los elementos necesarios para nutrir las plantas. En el Cuadro 1 se presentan los rangos de capacidad de intercambio catiónico en suelo para la nutrición de plantas.

Cuadro 1. Capacidad de intercambio catiónico para nutrición de plantas.

C.I.C. total meq/100 g	Nivel	Observaciones
0-10	Muy bajo	Suelo muy pobre; necesita aporte importante de materia orgánica para elevar C.I.C.
10-20	Bajo	Suelo pobre; necesita aporte de materia orgánica
20-35	Medio	Suelo medio
35-45	Medio alto	Suelo rico
Mayor de 45	Alto	Suelo muy rico

Fuente: S. Garrido. Interpretación análisis de suelos. 1993. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf⁴².

Existe una relación directa entre la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico, lo que hace alusión a que el incremento de una de estas propiedades aumenta el valor de la otra.

- **Relación C/N:** representa la proporción entre carbono y nitrógeno que se puede encontrar en los suelos, siendo estos elementos necesarios en el desarrollo de las plantas, valores altos indican que la materia orgánica es descompuesta lentamente, generando un exceso de energía en donde los microorganismos inmovilizan el nitrógeno, el cual no puede ser aprovechado por las plantas, mientras que los valores bajos representan gran contenido de nitrógeno y poca

⁴¹ CYNTHIA GAMARRA and ANTERO JOSEntero José Nicolás DIAZ LEZCANO, MAURA ISABEL VERA DE ORTIZ, MIRTHA GALEANO, MARIA DEL PILAR CABRERA CARDUS, "RELACION CARBONO-NITROGENO EN SUELOS DE SISTEMAS SILVOPASTORILES EL CHACO PARAGUAYO," *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9, no. 46 (2018): 4–26, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>.

⁴² FUENTES AGUILAR, "INTERPRETACION Y ANALISIS DE SUELOS."

energía, donde los microorganismos consumen la totalidad del carbono evitando que las plantas reciban este elemento.

Es indispensable tener un equilibrio que favorezca tanto a los microorganismos como a la planta, por lo que la relación ideal, se encuentra entre valores de 10 y 14, generando una mineralización adecuada, ya que la actividad microbiana se estimula y hay nutrientes suficientes para los microorganismos y las plantas. Esta relación se determina haciendo uso de la Ecuación 2.

Ecuación 2. Relación Carbono-Nitrógeno.

$$\frac{C}{N} = \frac{\% \text{Carbono Orgánico}}{\% \text{Nitrógeno total}}$$

Fuente: Revista mexicana de ciencias forestales. Vol. 9. 2017. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v9n46/2007-1132-remcf-9-46-4.pdf>⁴³.

1.5.2 Pruebas de germinación. La germinación hace referencia a la capacidad que tiene una semilla para producir una plántula, la facultad germinativa de un lote de semillas está relacionada con la viabilidad de estas, lo que significa que cuando se pongan en condiciones adecuadas de humedad, luz y temperatura, se obtendrán plántulas sanas.

Esta prueba se lleva a cabo como se describe en el documento *Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas*⁴⁴, disponiendo 25 semillas en cajas de Petri, que en su interior contienen papel filtro humedecido con agua destilada, estas deben ser rotuladas con el nombre de la semilla y la fecha de ejecución de la prueba, luego se cubren con papel Kraft, para evitar la exposición a la luz, transcurridas las 72 horas se realiza el conteo de las semillas germinadas el cual debe ser mayor o igual 75%, así determinando si la semilla es viable.

1.6 RECUPERACIÓN DE COAGULANTE

En Colombia se han realizado estudios para la recuperación del hidróxido de aluminio residual presente en los lodos de plantas de tratamiento de agua potable, gracias a que la mayoría de los metales tienen un comportamiento anfótero,

⁴³ GAMARRA and DIAZ LEZCANO, MAURA ISABEL VERA DE ORTIZ, MIRTHA GALEANO, MARIA DEL PILAR CABRERA CARDUS, "RELACION CARBONO-NITROGENO EN SUELOS DE SISTEMAS SILVOPASTORILES EL CHACO PARAGUAYO."

⁴⁴ PITA VILLAMIL FELIX, PEREZ GARCIA JOSE MANUEL, "VIABILIDAD, VIGOR, LONGEVIDAD Y CONSERVACIÓN DE SEMILLAS MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION SecRETAUIncrNranE ^ TECNICA," 2016, 16, <https://www.coiaclc.es/wp-content/uploads/2016/05/Viabilidad.pdf>.

caracterizándose por actuar ya sea como un ácido o como una base dependiendo de la sustancia con la que reacciona.

Como se enuncia en el documento *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*⁴⁵ la recuperación puede hacerse en condiciones acidas o alcalinas, esta vía disuelve una cantidad de hidróxido de aluminio sin afectar los demás metales presentes por medio del uso de hidróxido de sodio, consiguiendo hasta un 80% de eficiencia en la recuperación, mientras que haciendo uso de ácido sulfúrico por vía acida, se disuelve el hidróxido de aluminio y a su vez otros metales, pero con mayor eficiencia de recuperación; esta segunda vía es la más utilizada dado que el ácido sulfúrico es de bajo costo y tiene una gran capacidad para extraer coagulantes primarios.

Como consecuencia del agente coagulante utilizado durante el proceso de potabilización, los lodos generados contienen aluminio residual en forma de hidróxido, el cual se busca recuperar en procesos de tratamiento de aguas residuales.

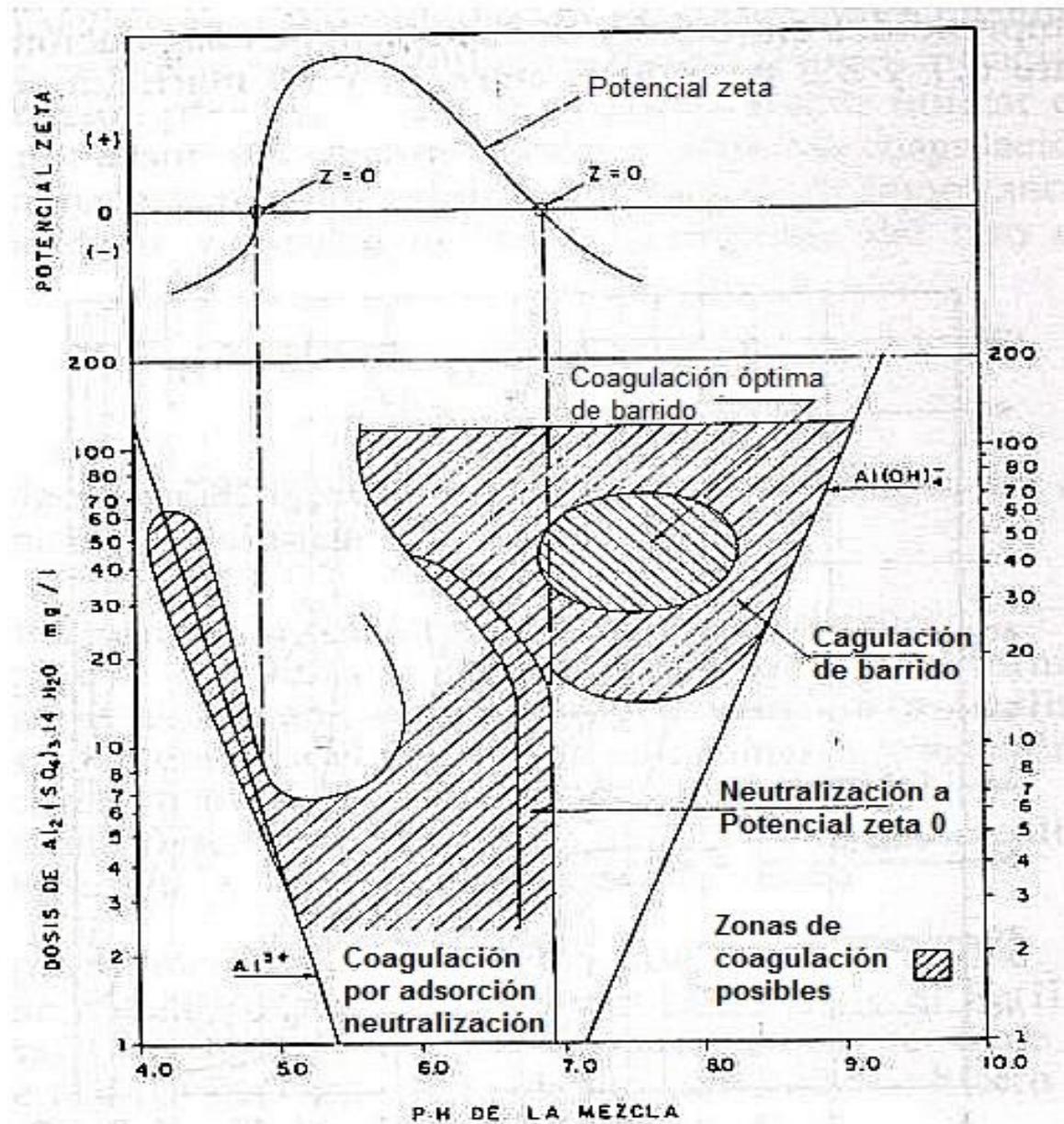
Para los tratamientos fisicoquímicos en el agua, se tiene la necesidad de hacer la determinación de la dosis de coagulante para remover la turbidez, esto se realiza por medio de ensayos de jarras, los cuales deben hacerse para cada tipo de agua, puesto que los afluentes tienen características muy variables.

Bibliográficamente no se encuentran datos establecidos concretamente para evaluar un afluente, como nombra el autor del documento *Teoría de la coagulación del agua*⁴⁶, los autores Amintharajh y Milis en 1982, mediante estudios realizados propusieron los diagramas de coagulación desarrollados a partir de diagramas de estabilidad termodinámica para la fase solida del hidróxido de aluminio, los cuales son herramientas útiles para predecir las condiciones químicas que gobiernan un proceso, utilizados para definir la dosis de coagulante en función del pH (Figura 1).

⁴⁵ MARGARETH NUÑEZ ZAUR, JUAN RICARDO PEÑA CASTRO, "RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO A PARTIR DE LODOS PTAP," 2011, 56.

⁴⁶ JORGE ARBOLEDA, "TEORIA DE LA COAGULACION DEL AGUA," *Teoría y Práctica de La Purificación Del Agua*, 2000, 793.

Figura 1. Zonas de coagulación para dosis de sulfato de aluminio a distinto pH.



Fuente: S Amintharajh y Milis. 1982 [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/teoria.pdf>⁴⁷.

Se puede ver que con dosis superiores a 15 mg/L de sulfato de aluminio y pH comprendidos entre 6.0 y 9 aproximadamente, se consigue coagulación de barrido, con un óptimo entre 6.9 y 8.2 para dosis entre 30 y 60 mg/L.

⁴⁷ ARBOLEDA.

La coagulación por adsorción-neutralización, se da en pH entre 5.0 y 7.0 y pH menores a 5.0 con una dosificación máxima de 60 mg/L. En la parte superior se encuentra el potencial “z” en donde el pH menor es 5.0 y el mayor 6.9 aproximadamente, en estos puntos de pH se genera un potencial de las partículas nulo.

Existen dos regiones en las que se genera la coagulación cerca al punto isoeléctrico a pH 5.0 y pH 6.9, en donde las partículas coloidales se estabilizan por el exceso de cargas positivas absorbidas. Las regiones sombreadas hacen referencia a todas las zonas de coagulación posibles.

1.6.1 Ensayo de jarras. Es un procedimiento realizado a nivel laboratorio, que tiene el fin de determinar condiciones de operación óptimas para tratamientos de aguas, generalmente por medio de estos ensayos se pueden establecer los tipos de coagulantes, dosificaciones y tiempos de retención que proporcionen la mayor remoción de turbidez en el agua.

La prueba se realiza como se describe en la *Norma Técnica Colombiana 3903*⁴⁸, mediante un arreglo de vasos de precipitado en los cuales se vierte agua que es agitada por paletas centradas conectadas a un agitador múltiple, luego se cargan los productos químicos e inicia la agitación con una mezcla instantánea a una velocidad de 120 rpm durante 1 minuto, disminuyendo la velocidad a 45 rpm por 20 minutos, con el fin de mantener en suspensión las partículas de floc en la mezcla instantánea. Finalmente se detiene la agitación y se toman muestras en diferentes segmentos de tiempo hasta completar los 60 minutos de sedimentación.

1.7 MATRIZ DE SELECCIÓN

La matriz Pugh nombrada así en honor a su creador Stuart Pugh, es un método cuantitativo que permite comparar criterios y alternativas, en base al estado actual. Esta matriz de decisión se aplica habitualmente en ingeniería para la toma de decisiones de diseño, para clasificar opciones de inversión, de proveedor y de producto.

En el documento *Aplicación de la metodología DMAMC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) de Seis Sigma para la mejora del retorno sobre activos de la flota de renta de maquinaria pesada*⁴⁹, es enunciado el procedimiento para realizar esta matriz, en primer lugar se deben identificar los criterios que afecten el proceso y deban ser evaluados, estos son ubicados generalmente en las filas de

⁴⁸ Icontec, 2001

⁴⁹ R. LEAL, *APLICACION DE LA METODOLOGIA DMAMC (DEFINIR, MEDIR, ANALIZAR, MEJORAR, CONTROLAR) DE SEIS SIGMA PARA LA MEJORA DEL RETORNO SOBRE ACTIVOS DE LA FLOTA DE RENTA DE MAQUINARIA PESADA* (Guatemala, 2005).

la matriz, luego se deben especificar los conceptos o las alternativas que se van a comparar, los cuales deben cumplir con los criterios definidos, estos se ubican en las columnas de la matriz como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Matriz Pugh.

		CONCEPTOS				
		Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4	Diseño 5
CRITERIOS	Criterio 1					
	Criterio 2					
	Criterio 3					
	Criterio 4					
	Criterio 5					
	Criterio 6					
	Total					

Fuente: elaboración propia, con base en: Pugh Concept Selection Matrix in Excel [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1381_IN.pdf.

Para desarrollar la metodología se asignan valores de -1, 0 y 1, en donde el valor negativo hace referencia a un escenario menos favorable que la condición actual, el número cero equivale a una situación igual o una situación que no ofrece beneficios y el valor positivo corresponde a un escenario en el cual se genera una mejora de la situación actual. Finalmente se totalizan los valores y se escogen los de mayor puntaje, siendo estos los más convenientes.

1.8 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Según Gutiérrez, H. & De la Vara, R., 2008⁵⁰, los diseños de experimentos de un factor comparan los tratamientos en cuanto a sus medias poblacionales, sin olvidar la comparación con la varianza, planteando hipótesis para probar cuando se comparan varios tratamientos, como:

⁵⁰ H; GUTIERREZ and R DE LA VARA, *ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS*, ed. MxGraw-Hill Interamericana, Segunda (México D.F., 2008).

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$$

$$H_A: \mu_i \neq \mu_j \text{ para algun } i \neq j$$

De donde se puede concluir si los tratamientos son iguales estadísticamente en cuanto a sus medias o presentan una diferencia significativa entre sí. Para resolver los problemas planteados es necesario obtener una muestra cuantitativa que represente cada uno de los tratamientos.

Existe un método que permite probar la hipótesis nula, denominado análisis de varianza (ANOVA), la cual es una técnica de análisis de datos experimentales que evalúa la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta, en los diferentes niveles de los factores.

El proyecto se desarrollará mediante diseños de experimentos de un factor de cinco niveles, realizando el análisis estadístico ANOVA por medio de la herramienta de análisis de datos de Excel.

1.9 MARCO LEGAL

En el Cuadro 2, se describen las normas establecidas dentro del marco legal colombiano en cuanto a la disposición de biosólidos y el manejo de los mismos, en donde se da alusión a las normas más relevantes en el desarrollo de este proyecto y realizando una descripción breve de las mismas.

Cuadro 2. Marco legal para el uso y disposición de biosólidos.

Norma	Descripción
RAS-2000 TITULO C. Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico ⁵¹	C.13 Manejo de lodo, control de procesos y operación
Resolución 0330 de 2007 Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. ⁵²	“Por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico”. Art 125
Decreto 3930 de 2010 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial ⁵³ .	“Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos liquidas y se dictan otras disposiciones”. Art 25
Decreto 1287 de 2014 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio ⁵⁴ .	“Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”. Art 4 Art 5 Art 8
NTC 3903 de 2010 Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC) ⁵⁵	“Gestión ambiental. Agua. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación floculación del agua.”
NTC-ISO 5667 de 2013 Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC) ⁵⁶	“Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Parte 13: Guía para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas.”

Fuente: elaboración propia.

⁵¹ COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, “REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO.”

⁵² COLOMBIA, MINISTEERIO DE VIVIENDA, “0330 - 2017.”

⁵³ VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, “DECRETO 3930,” 2010.

⁵⁴ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, “DECRETO NUMERO 1287.”

⁵⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, “NTC 3903.”

⁵⁶ ICONTEC INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, “NTC 5167,” 2004.

2. DIAGNÓSTICO

En el presente capítulo, se realiza el diagnóstico en el que se encuentra actualmente la planta de potabilización Llanitos del municipio de Subachoque, determinando a su vez, la cantidad de lodo producido durante el proceso y su categorización de acuerdo a la normatividad vigente.

2.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN

La empresa aguas y aseo de Subachoque S.A. E.S.P presta los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en el municipio de Subachoque, Cundinamarca.

Este proyecto se realizó directamente en la planta de potabilización Llanitos, ubicada en el municipio de Subachoque vía vereda El Pantano, como se observa en la Figura 2, en las coordenadas (4°56'19.3"N 74°10'44.8"W).

Figura 2. Ubicación espacial Planta de tratamiento agua potable Llanitos.

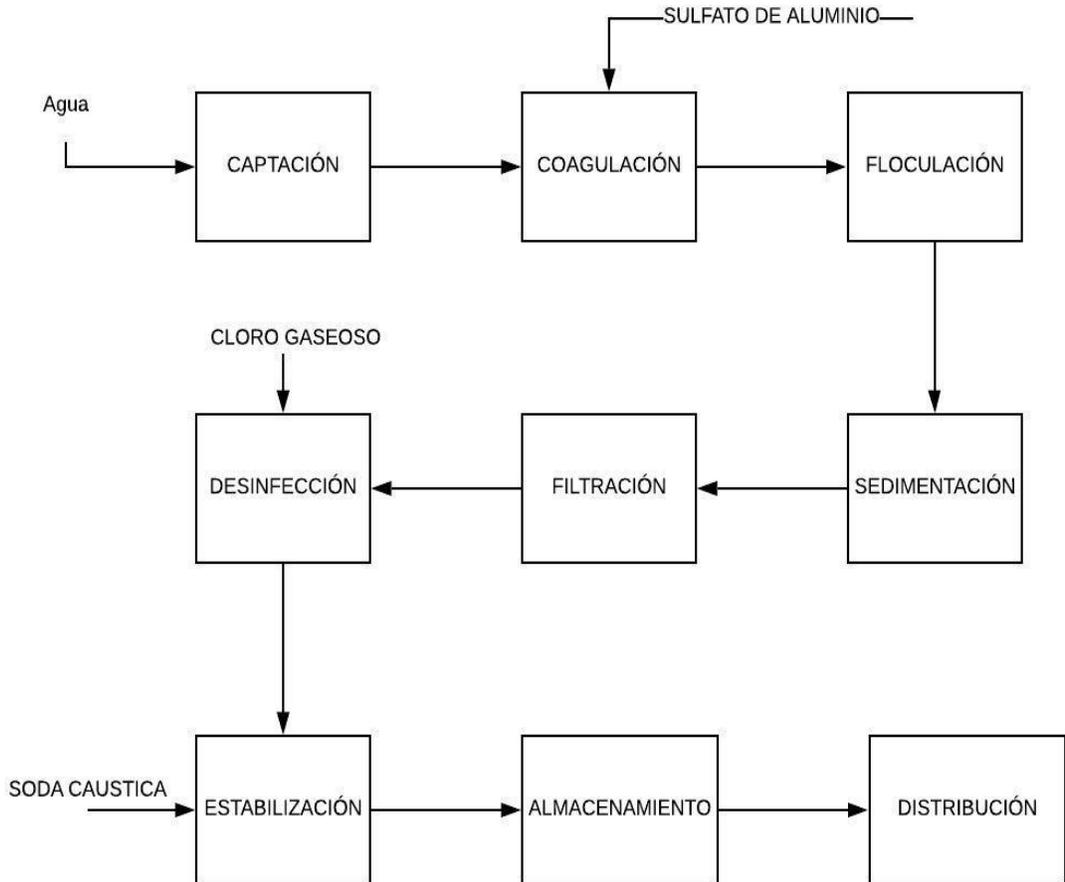


Fuente: Google earth.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En el Diagrama 1 se observa el esquema del proceso de potabilización que se da de manera continua en la planta Llanitos del municipio de Subachoque.

Diagrama 1. Proceso de potabilización PTAP Llanitos.



Fuente: elaboración propia.

Con el fin de garantizar que los filtros y sedimentadores se encuentren en las condiciones óptimas de operación, la planta Llanitos cuenta con un cronograma para el lavado de los mismos, los filtros son lavados diariamente por los operarios alternando el funcionamiento de estos para no detener el proceso de potabilización, mientras los sedimentadores se lavan una vez a la semana alternando el lavado entre los 2 existentes sin afectar la operación, el agua utilizada para el proceso de lavado de los filtros y sedimentadores es conducida a los lechos de sacado.

La planta tiene una capacidad de potabilización de 20 L/s, iniciando con la captación del agua desde fuentes hídricas, las cuales son el Pantano de Arce (Figura 3) y la Quebrada los Colorados (Figura 4), siendo bombeada hasta la planta, ubicada en el municipio de Subachoque, vía vereda El pantano.

Figura 3. Pantano de Arce.



Fuente: Empresa Agua y Aseo de Subachoque.

Figura 4. Quebrada los Colorados.



Fuente: Empresa Agua y Aseo de Subachoque.

Luego de la captación, el agua es llevada a la planta de tratamiento Llanitos, en donde se realiza un proceso de potabilización convencional, como se puede evidenciar en la Figura 5, la primera etapa es la coagulación en donde se adiciona un agente coagulante, en este caso, es dosificado el Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

tipo A diluido (25 kg/500 L solución) a una tasa de 300 mL/min equivalente a 12.5 ppm, esta mezcla pasa a través de una canaleta Parshall (Figura 6), generando la homogenización del efluente ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$), esta corriente llega a las 2 unidades sedimentadoras tipo colmena (Figura 7) en donde se da la formación del floc, que al precipitarse conformará el material de sedimentación.

Figura 5. Planta de tratamiento agua potable Llanitos.



Fuente: Empresa Agua y Aseo de Subachoque.

Figura 6. Canaleta Parshall.



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Sedimentadores tipo colmena.



Fuente: elaboración propia.

El efluente pasa por un lecho poroso compuesto por antracita, arena y grava, en donde se realiza el proceso de filtración (Figura 8), pasando simultáneamente por tres lechos filtrantes que hacen parte del proceso.

Figura 8. Lechos filtrantes.



Fuente: elaboración propia.

La corriente de agua tratada es conducida a un tanque de desinfección con cloro gaseoso en una tasa de 2.4 kg/d, equivalente a 1.39 ppm y soda caustica para estabilizar, diluida (16 L/100L solución), en una dosificación de 20 mL/min

equivalentes a 2.1 ppm, por último, el agua es bombeada a un tanque de almacenamiento (Figura 9) para su distribución.

Figura 9. Tanque de almacenamiento.



Fuente: elaboración propia.

Como resultado de la potabilización, se obtienen aproximadamente 11,100 kg/mes de lodos (dato proporcionado por operador), generados luego del proceso de sedimentación y filtración, siendo depositados en dos lechos de secado que están ubicados a un costado de la planta (Figura 10), en donde se da un proceso de separación, entre los lodos y el agua, siendo esta retornada a cabeza de proceso y dejando en la base de los lechos una torta de lodos deshidratados.

Figura 10. Lechos de secado.



Fuente: elaboración propia.

2.3 MUESTREO DE LODO

Con el fin de obtener una muestra de lodo representativa, se destinaron los lechos de secado por un mes (Figura 11), del 22 de mayo al 22 de junio, en donde finalizando el mes, se tomaron las muestras para la realización del proyecto siguiendo la metodología establecida en la *Norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-13*.⁵⁷.

Figura 11. Recolección de lodos en lechos de secado PTAP Llanitos.



Fuente: elaboración propia.

Se realizó una homogenización en uno de los lechos de secado, con el fin de asegurar una concentración uniforme en todo el depósito, luego se tomaron ocho muestras de lodo húmedo (Figura 12) en diferentes puntos del lecho de secado obteniendo un muestreo compuesto, el cual consiste en tomar 2 o más muestras, mezcladas en proporciones conocidas apropiadas, tomadas en recipientes con capacidad de 4 litros, a partir de las cuales se puede obtener el resultado promedio de una característica deseada, a estas muestras luego de la recolección,

⁵⁷ ICONTEC INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, “NTC-ISO 5667-13,” 1998.

se les determinaron parámetros de pH y temperatura como se evidencia en la Tabla 5.

Figura 12. Muestras de lodo húmedo.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Parámetros lodo húmedo.

Recipiente	pH (H ⁺)	Temperatura (°C)
1	6.81	14.0
2	6.66	14.0
3	6.78	14.1
4	6.84	14.1
5	6.90	13.9
6	6.81	14.2
7	6.84	14.1
8	6.86	14.1
Promedio	6.81	14.1

Fuente: elaboración propia.

Las muestras de lodo húmedo se almacenaron en una nevera a una temperatura de 4°C, con el fin minimizar cambios drásticos en los parámetros de lodo.

Luego de tomar las muestras, el lodo se dejó secar en los lechos a temperatura ambiente durante 1 semana y el día 29 de junio se hizo la recolección de lodo seco (Figura 13).

Figura 13. Lodo seco.



Fuente: elaboración propia.

2.4 CARACTERIZACIÓN DEL LODO

La planta Llanitos, trabaja en operación continua, 2 turnos de 12 horas en el horario de 6:00 am a 6:00 pm, supervisada por los operarios los cuales se encargan del funcionamiento adecuado de la misma, el operario de la noche tiene la función de realizar el retrolavado de los filtros diariamente, residuo que es recolectado en los lechos de secado ubicados en el costado de la planta.

2.4.1 Resultados caracterización IGAC. Para determinar el uso o disposición de los lodos, se requiere conocer las características de los mismos, para ello fue necesario enviar las muestras de lodo húmedo y seco a un laboratorio externo, Figura 14, (A) lodo húmedo y (B) lodo seco, en los cuales se midieron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que de acuerdo al *decreto 1287 de 2014*⁵⁸ determinan la categoría y uso que se puede dar a este tipo de residuo.

⁵⁸ MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL COLOMBIA, “RESOLUCIÓN 2115/2007,” *Gaceta Oficial*, 2007, 23, <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

Figura 14. Muestra lodo a caracterizar.



Fuente: elaboración propia.

En el Cuadro 3, se encuentran enlistadas las pruebas contratadas al Instituto Geográfico Agustín Codazzi- IGAC.

Cuadro 3. Pruebas en laboratorio IGAC.

Código	Descripción
F-14	Humedad de campo (lodo húmedo)
Q-37	Capacidad de intercambio catiónico
Q-48	Aluminio total
Q-56	Zinc total
Q-57	Cromo total
Q-58	Plomo total
Q-59	Cadmio total
Q-62	Caracterización y control de calidad de compost y abonos (Nitrógeno total, Potasio, Fosforo, pH, Calcio, Magnesio, Hierro; Cobre, Manganeseo, Boro, Azufre total, Carbono total), ensayos de madurez y estabilidad, ensayo efecto en plantas, ensayo de inocuidad biológica (Coliformes totales, fecales, Salmonella, Nematodos patógenos o Huevos de Helmitos Escherichia Coli).

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la caracterización realizada por el laboratorio Instituto Geográfico Agustín Codazzi se encuentran en el ANEXO A.

En la Tabla 6, se puede observar un compendio de todos los resultados de las pruebas químicas y microbiológicas realizadas.

Tabla 6. Resultados caracterización de lodo IGAC.

Código	Descripción	Resultado	Unidad de medida
Q-37	Capacidad de intercambio catiónico	35.264	cmol (+) / kg
Q-48	Aluminio total	14.690	%
Q-56	Zinc total	178.330	mg / kg
Q-57	Cromo total	87.660	mg / kg
Q-58	Plomo total	35.890	mg / kg
Q-59	Cadmio total	1.150	mg / kg
Q-62	Nitrógeno total	0.862	%
	Potasio	0.400	cmol (+) / kg
	Fosforo	24.680	mg / kg
	pH	5.930	pH
	Calcio	3.280	cmol (+) / kg
	Magnesio	0.410	cmol (+) / kg
	Hierro	276.870	mg / kg
	Cobre	3.700	mg / kg
	Manganeso	15.410	mg / kg
	Boro	0.910	mg / kg
	Azufre total	62.110	mg /kg
	Carbono total	9.071	%
	Coliformes totales	< 1.8	NMP/ g
	Coliformes fecales	< 1.8	NMP/ g
	Salmonella	No detectado	
Nematodos patógenos o Huevos de Helmitos	No detectado		
Escherichia Coli	< 1.8	NMP/ g	

Fuente: elaboración propia.

2.4.2 Comparación resultados con Decreto 1287 de 2014. Con el fin de determinar la clasificación del lodo de la PTAP Llanitos, para su posterior uso o disposición, se tiene la Tabla 7, en la cual se comparan los valores máximos permisibles para la categoría A y la categoría B, establecidos en el *decreto 1287 de 2014*⁵⁹ con los resultados reportados por el IGAC.

Tabla 7. Comparación decreto 1287 de 2014 y resultados IGAC.

Criterio	Variable	Unidad de medida	Categoría valores máximos permisibles		Resultados IGAC
			A	B	
Químicos – Metales	Cadmio (Cd)		8.00	40.00	1.15
	Cobre (Cu)	mg / Kg de biosólidos	1000.00	1750.00	3.76
	Cromo (Cr)	(Base seca)	1000.00	1500.00	87.66
	Plomo (Pb)		300.00	400.00	35.89
	Zinc (Zn)		2000.00	2800.00	178.33
Microbiológicos	Coliformes fecales	Unidades formadoras de colonias UFC/g de biosólidos (Base seca)	< 1.00 E (+3)	< 2.00 E (+6)	< 1.80
	Huevos de Helmitos viables	Huevos de Helmito viables / 4 g de biosólidos (Base seca)	< 1.0	< 10.0	No detectado
	Salmonella sp	Unidades formadoras de colonias UFC / 25 g de biosólidos (Base seca)	Ausencia	< 1.00 E (+3)	No detectado
	Virus Entéricos	Unidades formadoras de placas UFP/ 4 g de biosólidos (Base seca)	< 1.0		No detectado

Fuente: elaboración propia, con base en [MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 de 2014. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf>].

⁵⁹ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, “DECRETO NUMERO 1287.”

En la tabla anterior, se puede establecer que los resultados de los parámetros comparados del lodo generado en la planta de potabilización de agua Llanitos, del municipio de Subachoque es categoría A.

2.5 CUANTIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LODO

La PTAP, trata 20L/s de agua cruda con una dosificación de 12.5 ppm de Sulfato de Aluminio como coagulante y 2.1 ppm de soda caustica como estabilizante.

El cálculo de la producción de los lodos, se hizo de forma teórica teniendo en cuenta una turbiedad para el agua cruda de 10 NTU y para el agua tratada de 1 NTU, haciendo uso de tres ecuaciones planteadas por diferentes autores, a su vez se determinó la cantidad de lodo producido teniendo en cuenta la reacción del Sulfato de aluminio en el agua y posteriormente estos resultados se compararon con el dato proporcionado por planta, con el fin de diagnosticar la cantidad real de lodo producida en la planta de potabilización. La muestra de los cálculos realizados para la producción de lodo se encuentra en el ANEXO B.

2.5.1 Cuantificación de planta. Luego del mes de recolección de lodos, los operarios reportaron un valor de 777 kg/mes de lodo seco, producto del lavado de sedimentadores y filtros, siendo equivalente a 25,90 kg/d de lodo seco.

2.5.2 Cuantificación teórica. La producción teórica de lodos generados en la planta de potabilización, se calculó por medio de tres expresiones matemáticas utilizadas por diferentes autores, con el fin de comparar los resultados de la producción de lodo, se realizó el cálculo con ecuaciones que contemplan diferentes parámetros, del libro *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*⁶⁰, se extrajo la Ecuación 3, la cual tiene en cuenta caudal, sólidos totales y la eficiencia de remoción incluida en la Tabla 8. Por otro lado, en el documento *Manejo de lodos producidos en la planta de agua potable, planta II, del municipio de Cartago, Valle*⁶¹, se tiene la expresión de la Ecuación 4, la cual tiene una diferencia con la ecuación anterior, por que maneja una constante y tiene en cuenta la dosificación del coagulante, finalmente del documento *Desarrollo de la ingeniería básica para el aprovechamiento de los residuos de la planta “El Gatillo” de la EAOC SAS ESP*⁶², se tomó la Ecuación 5, esta tiene gran similitud con la ecuación mencionada anteriormente, diferenciándose en que su cálculo no contempla el uso de constantes.

⁶⁰ COMISION NACIONAL DEL AGUA, “MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO: DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS,” 2015.

⁶¹ A. RAMIREZ, *MANEJO DE LODOS PRODUCIDOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, PLANTA II, DEL MUNICIPIO DE CARTAGO, VALLE* (Manizales, 2003).

⁶² I. ROZO, L., & SUTA, *DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA PLANTA “EL GATILLO” DE LA EAOC SAS ESP* (Bogotá, D.C: Universidad de América, 2011).

Ecuación 3. Producción de lodo CONAGUA.

$$Lp = \frac{Q * SST_{afl} * E}{1000}$$

Fuente: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Libro 32. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en:
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015b.Tratamiento%20y%20Disposici%C3%B3n%20de%20Lodos%2032..pdf⁶³.

Dónde:

LP: masa de lodo kg/d.

Q: flujo del afluente primario, m³/d.

SST: sólidos suspendidos totales del afluente primario, mg/L.

E: eficiencia de remoción como fracción (Tabla 8).

Tabla 8. Eficiencias de remoción de los clarificadores primarios.

Parámetro	Sin coagulación química	Con coagulación química
% Remoción		
DBO (Demanda química de oxígeno)	25-40	40-70
SST (Sólidos suspendidos totales)	40-70	60-90
PT (Fósforo total)	5-10	70-90

Fuente: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Libro 32. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en:
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015b.Tratamiento%20y%20Disposici%C3%B3n%20de%20Lodos%2032..pdf.

⁶³ COMISION NACIONAL DEL AGUA, "MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO: DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS."

Ecuación 4. Producción de lodo RAMIREZ.

$$S = 86.4 * Q (0.44 * AL + SS + A)$$

Fuente: RAMIREZ, GUILLERMO. Manejo de lodos producidos en la planta de agua potable, planta II, del municipio de Cartago, Valle. [En línea]. Trabajo final. Universidad Nacional de Colombia. Manizales: 2003. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/1149/1/guillermoandresramirezfernandez.2003.pdf>⁶⁴.

Dónde:

S: lodo producido en base seca.

86,4: factor de conversión.

Q: caudal de agua tratada [m³/s].

0,44: constante (sólidos inorgánicos de aluminio).

AL: dosis de sulfato de aluminio [mg/L].

SS: sólidos suspendidos totales del agua cruda [mg/L].

A: productos químicos adicionales [mg/L].

Ecuación 5. Producción de lodo ROZO & SUTA.

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

Fuente: ROZO L., & SUTA, I. Desarrollo de la ingeniería básica para el aprovechamiento de los residuos de la planta “El Gatillo” de la EAO C SAS ESP. Proyecto integral de grado. Universidad de América. Bogotá: 2011⁶⁵.

Dónde:

S: lodo producido en base seca [kg/d].

UNT: turbiedad del agua cruda.

Al: dosis de sulfato de aluminio [mg/L].

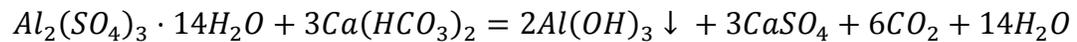
⁶⁴ RAMIREZ, MANEJO DE LODOS PRODUCIDOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, PLANTA II, DEL MUNICIPIO DE CARTAGO, VALLE.

⁶⁵ ROZO, L., & SUTA, DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA PLANTA “EL GATILLO” DE LA EAO C SAS ESP.

Q: caudal de agua tratada [m³/d].

10⁻³: factor de conversión.

2.5.3 Reacción estequiométrica. De acuerdo al libro *Agua su calidad y tratamiento*⁶⁶, los compuestos de Hierro y Aluminio usados como coagulantes reaccionan con la alcalinidad del agua. A continuación se presenta la reacción que ocurre en el proceso de potabilización al adicionar Sulfato de Aluminio:



Se debe tener en cuenta que el peso molecular del Sulfato de Aluminio hidratado ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) es 594.15 kg/kmol y el del floculo ($2Al(OH)_3$), equivale a 156 kg/kmol, con esto se obtendrá la formación del floculo a partir de la reacción, a lo que hay que adicionarle la cantidad de solidos suspendidos removidos.

2.5.4 Comparación resultados producción lodo seco. Tomando como base el dato suministrado por planta, se determinó el porcentaje de error como se presenta en la Tabla 9, realizando la comparación con cada uno de los métodos, con el fin de escoger el dato con menor porcentaje.

Tabla 9. Cantidad de lodo.

Tipo de cuantificación	Resultado lodo seco kg/día	% Error
Planta	25.9	-
Ecuación 3	15.55	39.96
Ecuación 4	26.78	3.39
Ecuación 5	23.76	8.26
Reacción	21.22	18.06

Fuente: elaboración propia.

El cálculo de lodos con el mayor porcentaje de error, se obtuvo en la Ecuación 3, obteniendo una diferencia de 10.35 kg/d de lodo seco, equivalentes al 39,36% de error, aunque esta ecuación tiene en cuenta el caudal, los sólidos que el agua cruda contiene y el porcentaje de la eficiencia de remoción de estos, deja de

⁶⁶ J. ROMERO, *POTABILIZACION DEL AGUA*, ed. Escuela colombiana de ingeniería, Tercera, n.d.

contemplar la dosificación de Sulfato de Aluminio que es utilizado en el proceso, por lo que la determinación de la cantidad de lodo producido se ve afectada.

El cálculo con la reacción estequiométrica, es el segundo valor con el porcentaje de error más alto, ya que se parte de la formación del floc que se genera por la adición del coagulante y se debe sumar luego la generación de sólidos de entrada como los removidos, lo cual genera una diferencia con las dos ecuaciones restantes, puesto que ellas solo tienen en cuenta los sólidos iniciales del agua cruda.

Por otro lado, la ecuación 4., tiene una constante que acompaña a la dosificación de aluminio, mientras que en la Ecuación 5, el valor de 0.3 que acompaña a la dosificación de Sulfato de Aluminio correspondiente a la relación que hay entre el peso molecular de $2\text{Al}(\text{OH})_3$ correspondiente a 156 kg y el peso molecular del Sulfato de Aluminio que corresponde a 594.15 kg, siendo estas dos últimas las de menor porcentaje de error, por esa razón se decidió trabajar con el valor calculado haciendo uso de la Ecuación 4 que da como resultado una producción de lodo de 26.78 kg/d de lodo seco.

3. ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO

Como se ha mencionado anteriormente, para la determinación de las alternativas de uso o disposición de los lodos que se generan en plantas de tratamiento, es necesario conocer la composición de estos, lo cual se logra por medio de la caracterización de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. De acuerdo a los datos reportados en la Tabla 7, se determinó que los lodos provenientes de la planta de tratamiento de agua potable Llanitos se encuentran dentro de los valores de la categoría A.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS

Basados en el *Decreto 1287 de 2014*⁶⁷, en el Cuadro 4 se enuncian las alternativas para el uso de los biosólidos de acuerdo a su categoría.

Cuadro 4. Alternativas para el uso de biosólidos.

Categoría A	Categoría B
Zonas verdes (Cementerios, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos)	Agricultura en suelo
Uso en áreas privadas (jardines, antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización)	Plantaciones forestales
Agricultura	Recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados
Usos categoría B	Insumos en abonos o fertilizantes orgánicos.
	Estabilización de taludes
	Rellenos sanitarios (Cobertura diaria, cobertura final de cierre y clausura de plataformas).
	Revegetación y paisajismo
	Valorización energética

Fuente: elaboración propia, con base en [MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 de 2014. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf>].

⁶⁷ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, “DECRETO NUMERO 1287.”

3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Por la variedad de alternativas dispuestas en el decreto, es necesario establecer diferentes aspectos, que ayuden a seleccionar las alternativas más convenientes para la planta Llanitos de acuerdo al tipo de lodo que se produce; para esto se van a tener en cuenta los siguientes criterios.

- Revisión bibliográfica: aunque es escasa la información acerca de las aplicaciones para el aprovechamiento de los residuos generados en plantas de tratamiento de agua, se lograron identificar en diferentes fuentes, el desarrollo de las principales alternativas en las que los lodos son una buena opción de aprovechamiento, dando una base para el desarrollo del proyecto.
- Tratamiento del lodo: ya que los lodos son provenientes del retrolavado de filtros y sedimentadores, los cuales son recolectados en lechos de secado en donde ocurre una separación de fases, dejando una torta de lodo con gran contenido de humedad que mediante un proceso de deshidratación luego de un periodo de tiempo, genera un lodo seco.

Es importante definir de acuerdo a la alternativa de implementación, si se requiere un residuo húmedo o un residuo seco.

- Implementación: este criterio hace referencia al desarrollo de la alternativa mas no al del tratamiento del lodo, implicando la complejidad del uso del lodo en el proceso a ejecutar.
- Operatividad del proceso: referente a la experticia que debe tener la persona encargada del proceso.
- Requerimiento de equipos: se debe tener en cuenta si en el desarrollo de la alternativa se requiere de la implementación de equipos.
- Tiempo de ejecución: intervalo de tiempo en el cual se pueden obtener resultados de la alternativa a evaluar.
- Transporte: puesto que el lodo se puede utilizar de manera húmeda o seca, el transporte viene a ser un criterio de gran importancia, ya que existe una diferencia entre el volumen ocupado por el lodo húmedo y el seco, siendo el primero más complejo para la movilización.
- Beneficio para la empresa: dado que actualmente se está generando una inapropiada disposición del residuo (lodo), la empresa Aguas y Aseo de Subachoque corre con el riesgo de sellamiento ya que incumple normas de vertimiento, por lo que requiere de opciones de disposición de los lodos.

- Impacto ambiental: ya que la Empresa Aguas y Aseo de Subachoque no cuenta con un tratamiento a los residuos que produce y estos son dispuestos directamente en los alrededores de la planta, es necesario implementar alternativas que minimicen el efecto de ese vertimiento ayudando al medio ambiente.

3.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para determinar las mejores alternativas de aprovechamiento se aplicó la metodología Pugh, descrita en la sección 1.7.

En el Cuadro 5, se describen los valores que se utilizan para desarrollar la matriz de selección desarrollada en la Tabla 10.

Con base en los resultados obtenidos en la Tabla 10, se determinaron las mejores alternativas a evaluar en el aprovechamiento de los lodos que se generan en la PTAP Llanitos.

Basados en los nueve criterios mencionados en el Cuadro 5, y haciendo uso de la metodología Pugh anteriormente expuesta, se obtuvo Insumo de cultivo y mejoramiento de suelo como la alternativa de mayor importancia con un puntaje de 7, seguida de la recuperación del sulfato de aluminio con un puntaje de 5, al igual que la alternativa para insumo en materiales de construcción.

Se encuentran con un puntaje de 4 las alternativas de zonas verdes, plantaciones forestales y recuperación de suelo degradado, obteniéndose un valor relativamente alto el cual se vio afectado principalmente por el tiempo de ejecución, ya que para hacer la implementación de estas alternativas es necesario contar con periodos de tiempo prolongados.

El mínimo valor con una puntuación de -1, fue para la alternativa de valorización energética, ya que esta requiere de una amplia disponibilidad de espacio y de estudios adicionales para determinar el poder calorífico de los lodos.

Cuadro 5. Interpretación de valores matriz de selección.

Criterio	Interpretación de valores		
	-1	0	1
Revisión bibliográfica	No existe bibliografía referente a la alternativa	La información que se encuentra de la alternativa es muy limitada	Se han realizado gran cantidad de estudios respecto a la alternativa
Tratamiento del lodo	El lodo debe ser sometido a un tratamiento de deshidratación	El producto del retrolavado no tiene ningún tratamiento y es vertido a los alrededores de la planta	El lodo es utilizado luego de la separación de fases, con alto grado de humedad
Implementación	El uso del lodo en el proceso requiere de una metodología específica para su desarrollo.	No aplica	El uso del lodo en el proceso no requiere de una metodología específica para su desarrollo.
Operatividad del proceso	Se requiere que el operario tenga conocimientos específicos en el tema.	No aplica	El operario puede desarrollar el proceso sin conocimientos específicos de este.
Requerimiento de equipos	Para la ejecución de la alternativa son necesarios equipos.	No aplica.	Para la ejecución de la alternativa no es necesario hacer uso de equipos.
Tiempo de ejecución	Para tener resultados de la alternativa se requieren más de 6 meses.	No aplica	Los resultados de la alternativa se obtienen antes de haber transcurrido 6 meses.
Transporte	El lodo se debe transportar húmedo, ocupando un mayor volumen, aumentando el costo de transporte.	No aplica	El lodo se transporta seco, aumentando la cantidad de residuo transportado y disminuyendo costos.
Beneficio para la empresa	La alternativa genera muchos gastos y poca retribución a la empresa.	Se genera incumplimiento de normatividad por la inadecuada disposición del residuo.	La alternativa evita las sanciones legales y genera una retribución económica.
Impacto ambiental	La alternativa causa un efecto negativo en el ambiente afectando el municipio.	La inapropiada disposición del residuo está afectando los suelos y el ecosistema del municipio.	El aprovechamiento del lodo evita que se genere afectación en los suelos y el ecosistema del municipio.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Selección de alternativas mediante metodología Pugh.

		Alternativas						
		Zonas verdes	Insumo de cultivo y mejoramiento de suelo	Plantaciones forestales	Recuperación de suelo degradado	Insumo en materiales de construcción	Valorización energética	Recuperación de sulfato de Aluminio
Criterios	Revisión bibliográfica	0	1	0	0	1	1	1
	Tratamiento del lodo	-1	-1	-1	-1	-1	1	1
	Implementación	1	1	1	1	1	-1	1
	Operatividad del proceso	1	1	1	1	1	-1	1
	Requerimiento de equipos	1	1	1	1	-1	-1	-1
	Tiempo de ejecución	-1	1	-1	-1	1	-1	1
	Transporte	1	1	1	1	1	-1	-1
	Beneficio para la empresa	1	1	1	1	1	1	1
	Impacto ambiental	1	1	1	1	1	1	1
	Total	4	7	4	4	5	-1	5

Fuente: elaboración propia.

4. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS

De acuerdo a los puntajes obtenidos en la Tabla 10, se desarrollan dos de las alternativas más relevantes, con el fin de dar a la empresa Aguas y Aseo de Subachoque opciones para el aprovechamiento del residuo que se está generando en la planta de potabilización Llanitos.

Las alternativas a evaluar serán desarrolladas por medio de diseños experimentales que permitan identificar y cuantificar los efectos en esta investigación, los datos obtenidos luego del desarrollo del experimento serán comparados estadísticamente haciendo uso del análisis de varianza (ANOVA).

4.1 INSUMO DE CULTIVO Y MEJORAMIENTO DE SUELO

Insumo de cultivo y mejoramiento de suelo fue la alternativa con mayor puntuación, siendo una opción que propone aprovechar las características y condiciones de los lodos, haciendo uso de la disponibilidad de diferentes compuestos como el Carbono, Nitrógeno, Fósforo, entre otros, contribuyendo en el mejoramiento de las condiciones naturales del suelo.

Cabe resaltar que Subachoque, el Municipio en donde se desarrolla la propuesta, se caracteriza por su producción agrícola y ganadera, por lo que proporcionar esta alternativa podría generar grandes beneficios para el desarrollo de la población, disminuyendo costos a los agricultores y generando una gran oportunidad para la empresa, ofreciendo así, un uso apropiado a la problemática que se presenta actualmente.

Para llevar a cabo esta evaluación, se deben tener en cuenta las siguientes premisas:

- Se evaluaron tres tipos de hortalizas con el fin de determinar si el lodo aporta nutrientes al suelo independientemente del tipo de planta que se esté cultivando.
- El desarrollo experimental se trabajó con hortalizas, dado que estas requieren de un tiempo de cosecha no mayor a tres meses, lo que permite dar resultados en los tiempos estipulados para la ejecución del proyecto.
- El lodo se trabajó bajo las condiciones en las que se encontró luego de la deshidratación en los lechos de secado.

4.1.1 Resultados de los parámetros de seguimiento. De acuerdo a los parámetros descritos en la sección 1.5.1, y con base en los resultados reportados en la Tabla 6, se determinaron los parámetros de seguimiento que se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Parámetros de seguimiento.

Parámetro	Valor
pH	5.93-6.81
Materia orgánica (%)	15.61
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	35.264
Relación Carbono/Nitrógeno	10.52

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta el promedio de pH reportado en la Tabla 5, correspondiente a 6.81 para lodo húmedo y el valor reportado en los resultados de la caracterización de lodo seco igual a 5.93, se podría establecer que el pH del lodo se encuentra en un valor medio de acuerdo a la Tabla 3, en el rango de 5.5 a 7, el cual es el preferido por la mayoría de cultivos.

El porcentaje de materia orgánica, se calculó por medio de la Ecuación 1, obteniéndose un valor correspondiente a 15.61%, lo que es beneficioso para la planta, induciendo una correcta mineralización de los nutrientes del lodo que van a quedar disponibles en los cultivos.

El valor de 35.264 meq/100g en la capacidad de intercambio catiónico, se encuentra en el rango que determina un nivel medio alto, indicando que el lodo se puede considerar como un suelo rico, permitiendo retener los elementos necesarios para nutrir las plantas y a su vez con gran contenido de materia orgánica, como se mencionó anteriormente.

Así mismo la relación carbono/nitrógeno que se determinó por medio de la Ecuación 2, arrojo un resultado de 15.61, clasificándolo dentro de los valores ideales para proporcionar un adecuado equilibrio en el suelo, permitiendo una apropiada mineralización.

Teniendo en cuenta la Tabla 2 y la Tabla 11, se puede afirmar que los lodos que se generan en la planta Llanitos, pueden ser utilizados para la aplicación en suelos como insumo de cultivos y mejoramiento del mismo.

4.1.2 Desarrollo de las pruebas de germinación. Las hortalizas evaluadas fueron la lechuga, la zanahoria y el cilantro, las cuales se eligieron, dado que estas cuentan con una capacidad de adaptación a diferentes tipos de suelos, se pueden cultivar en climas frescos, con humedad y temperaturas entre 15 y 20°C.

Las semillas de las hortalizas evaluadas, fueron adquiridas en el Municipio de Facatativá en mercados de agro insumos, en el Cuadro 6 se plasmaron los datos proporcionados por los distribuidores que describen las condiciones de las semillas, los cuales se encontraron en la parte posterior de cada uno de los paquetes.

Cuadro 6. Condiciones de semillas.

Semilla	Lote	Germinación	Pureza	Fecha de análisis	Distribuidor
Cilantro Patimorado	19152	85%	99%	05-2019	Fercon
Lechuga Simpson	397746-47	90%	99%	05-2019	Oro verde
Zanahoria Chantenay	333235-77	85%	99%	01-2019	Oro verde

Fuente: elaboración propia.

Las pruebas de germinación, se realizaron el día 5 de agosto, de acuerdo a lo descrito en la sección 1.5.2, en la Figura 15, se muestran los empaques de cada tipo de hortaliza.

Figura 15. Prueba de germinación de semillas.



Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos de las pruebas de germinación realizadas, fueron reportados en la Tabla 12, luego del conteo de semillas, determinando que los lotes de las hortalizas son viables para la siembra.

Tabla 12. Resultados ensayo de germinación.

Semilla	Lote	Semillas evaluadas	Semillas germinadas	Prueba de germinación
Cilantro Patimorado	19152	25	20	80%
Lechuga Simpson	397746-47	25	22	88%
Zanahoria Chantenay	333235-77	25	21	84%

Fuente: elaboración propia.

4.1.3 Desarrollo experimental. El diseño experimental de un factor se realizó mediante la comparación de cuatro niveles, un blanco y cuatro repeticiones para cada uno de estos, en el cual se evalúa la composición entre lodo y suelo necesaria para la siembra de las hortalizas; luego de un periodo de 80 días, se hizo la medición final de la longitud en centímetros de las plántulas como variable de respuesta.

Con base en esto se realizó una mezcla entre suelo y cascarilla de arroz (Figura 16), como sustrato orgánico el cual aporta drenaje y aireación, el lodo se adicionó con el fin de evaluar si los componentes que los constituyen pueden mejorar las condiciones del suelo o de los cultivos.

Figura 16. Suelo- cascarilla de arroz.



Fuente: elaboración propia.

Las combinaciones se hicieron teniendo como base de cálculo 1 kg de mezcla, en la Tabla 13 se relacionan las cantidades que se determinaron para cada tratamiento, valores en porcentaje y su equivalente en gramos, buscando cubrir todas las posibilidades de mezcla.

Tabla 13. Combinaciones para los niveles.

Nivel	% Lodo	% Suelo	Lodo (g)	Suelo (g)
BLANCO	0	100	0	1000
A	25	75	250	750
B	50	50	500	500
C	75	25	750	250
D	100	0	1000	0

Fuente: elaboración propia.

Para cada una de las hortalizas evaluadas, se definieron las variables como se muestra en el Cuadro 7, para el desarrollo de la alternativa de insumo de cultivo y mejoramiento de suelo de la siguiente manera:

Cuadro 7. Variables para insumo de cultivo y mejoramiento de suelo.

Variables independientes	Variables dependientes
Suelo – cascarilla de arroz Lodo seco	Longitud de la planta

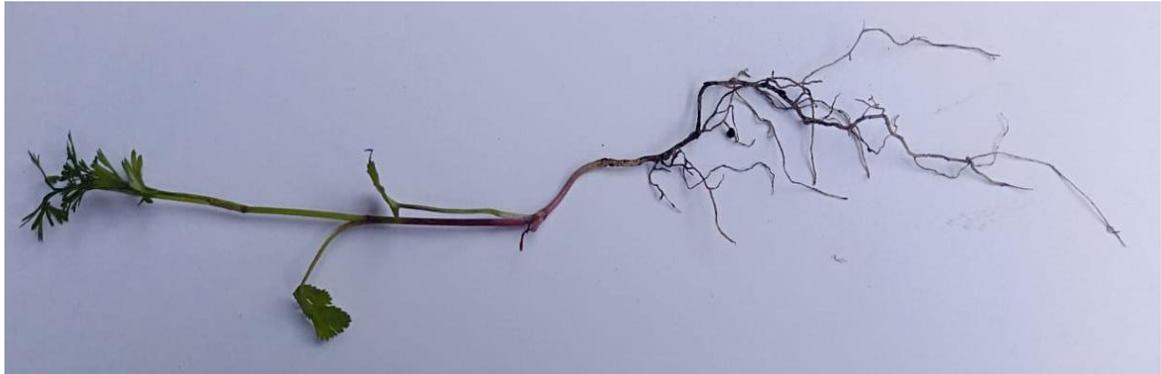
Fuente: elaboración propia.

A partir de los criterios mencionados anteriormente se procede a ejecutar el diseño de experimentos para cada una de las hortalizas.

Cilantro Patimorado.

La Figura 17, es una muestra de la plántula de Cilantro Patimorado, la cual fue desplantada luego de 80 días de su cultivo, para poder realizar la medida de su longitud en centímetros.

Figura 17. Muestra plántula Cilantro Patimorado.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se tiene el planteamiento para el desarrollo del diseño de experimentos.

Situación problema: Determinar el efecto de la relación de lodo seco y suelo con cascarilla de arroz para el crecimiento del cilantro.

Variable de respuesta: Crecimiento del cilantro en centímetros.

Objetivo experimental: Evaluar el efecto en la relación entre lodo-suelo para el crecimiento del cilantro.

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ No existe efecto de la relación entre lodo-suelo para el crecimiento del cilantro.

$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ Existe efecto de la relación entre lodo-suelo para el crecimiento del cilantro.

En la Tabla 14, se tienen los datos de la longitud en centímetro, medidos luego de 80 días de haber plantado la semilla.

Tabla 14. Longitud plántulas Cilantro Patimorado en centímetros.

Niveles				
BLANCO	A	B	C	D
11.0	8.0	15.5	9.0	7.5
13.0	18.0	13.0	15.0	0.0
0.0	8.5	12.0	17.0	0.0
15.0	15.0	14.5	5.5	4.0

Fuente: elaboración propia.

Se tiene una variación de los resultados de las repeticiones para cada uno de los niveles, esto debido a que aunque se trabajó con la misma mezcla entre suelo con cascarilla de arroz y lodo, se debe tener en cuenta que al momento de la plantación de las semillas la cantidad colocada de estas en cada uno de los semilleros no garantiza el crecimiento de todas, dado que el porcentaje de germinación no llega a ser del 100% lo que significa que no todas las semillas germinaron, otro factor que influye en la variabilidad de los datos es que el crecimiento de las plántulas también depende de la distancia desde la superficie, donde se encuentran las semillas luego de su plantación, pues es la distancia en la cual la semilla empieza absorber los nutrientes del suelo en el que esta cultivada y a su vez las condiciones externas como el agua y el sol que ayudan en su crecimiento, no obstante durante la experimentación se buscó mantener las mismas condiciones en los cultivos, pero esto no garantizo que los resultados se mantuvieran bajo los mismos valores.

En el nivel D, en donde el suelo para el cultivo de la semilla correspondía a 100% lodo, las repeticiones 2 y 3 no tuvieron geminación de la plántula, lo que equivale a una longitud en centímetros igual a cero, mientras que las repeticiones 1 y 4 si germinaron, esta variación puede darse en consecuencia a lo mencionado anteriormente, a su vez se debe tener en cuenta que la presencia solamente de lodo como suelo en el cultivo no aporta las condiciones necesarias para su crecimiento, pues aunque se dieron algunas germinaciones la longitud tiene valores bajos comparados con las longitudes medidas en el nivel B, correspondiente a un suelo con una mezcla de 50% lodo y 50% suelo y cascarilla de arroz, donde se tienen las mayores longitudes en centímetros del experimento.

Lechuga Simpson.

Luego de 80 días se desplanto la Lechuga Simpson, para poder realizar la medición de su longitud en centímetros, dicha plántula se puede observar en la Figura 18.

Figura 18. Muestra plántula Lechuga Simpson.



Fuente: Elaboración propia.

Se describe el análisis para el desarrollo del diseño de experimentos para la plántula de Lechuga Simpson.

Situación problema: Determinar el efecto de la relación de lodo seco y suelo con cascarilla de arroz para el crecimiento de la lechuga.

Variable de respuesta: Crecimiento de la lechuga en centímetros.

Objetivo experimental: Evaluar el efecto en la relación entre lodo-suelo para el crecimiento de la lechuga.

H₀: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ No existe efecto de la relación entre lodo-suelo para el crecimiento de la lechuga.

H_A: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ Existe efecto de la relación entre lodo-suelo para el crecimiento de la lechuga.

En la Tabla 15, se tienen las longitudes medidas en centímetro para la Lechuga Simpson, luego de 80 días de haber plantada la semilla.

Tabla 15. Longitud plántulas de la Lechuga Simpson en centímetros.

Niveles				
BLANCO	A	B	C	D
5.5	6.5	10.5	0.0	0.0
14.5	12.5	10.5	7.0	0.0
11.0	9.5	11.0	8.5	7.5
10.0	7.0	7.0	10.0	4.0

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 15, en los niveles C y D para algunas de sus repeticiones, se presentan valores iguales a cero, equivalentes a que las semillas de Lechuga Simpson no germinaron, esto debido a que en estos semilleros las semillas plantadas no lograron absorber la cantidad de nutrientes aportados por el tipo de suelo, a su vez las condiciones externas como agua y luz solar necesarias para su crecimiento, aunque fueron plantadas bajo las condiciones presentadas anteriormente para el diseño experimental, la germinación de las semillas es variable, como se puede evidenciar en el Desarrollo de las pruebas de germinación.

Zanahoria Chantenay.

En la Figura 19, se observa la muestra de la plántula de Zanahoria Chantenay, luego de 80 días de haber sido plantada.

Figura 19. Muestra plántula Zanahoria Chantenay.



Fuente: elaboración propia.

Situación problema: Determinar el efecto de la relación de lodo seco y suelo con cascarilla de arroz para el crecimiento de la zanahoria.

Variable de respuesta: Crecimiento de la zanahoria en centímetros.

Objetivo experimental: Evaluar el efecto en la relación entre lodo-suelo para el crecimiento de la zanahoria.

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ No existe efecto de la relación entre lodo-suelo para el crecimiento de la zanahoria.

$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ Existe efecto de la relación entre lodo-suelo para el crecimiento de la zanahoria.

En la Tabla 16, se tienen los datos medidos luego de 80 días de haber plantado la semilla.

Tabla 16. Longitud plántulas Zanahoria Chantenay en centímetros.

		Niveles			
BLANCO	A	B	C	D	
7.5	0.0	8.0	6.0	0.0	
8.0	4.0	8.5	6.5	4.0	
10.5	7.5	8.5	7.0	4.5	
3.5	9.0	10.0	7.0	3.0	

Fuente: elaboración propia.

Los datos reportados en Tabla 16, presentan valores de cero en el nivel A y D para sus primeras repeticiones, esto debido a que las semillas de Zanahoria

Chantenay en el semillero, no lograron cumplir con el aporte necesario y las condiciones óptimas para su crecimiento, debido a diferentes factores como el agua, el sol, la absorción de nutrientes y la germinación de las semillas.

4.1.4 Análisis de resultados. Teniendo en cuenta los datos registrados en cada una de las tablas de las hortalizas, se desarrolló un análisis estadístico ANOVA, determinando si las medias de los tratamientos evaluados son iguales o hay diferencia entre estas.

Se trabajó con un nivel de significancia del 95% ($\alpha=5\%$), en consecuencia de los errores aleatorios que pueden generarse por los efectos de los factores no estudiados y los errores del experimentador, en la planeación y ejecución de la investigación, generando una confiabilidad de los resultados del 95%.

Cilantro Patimorado.

En la Tabla 17, se muestran los resultados del análisis estadístico ANOVA, calculado haciendo uso de la herramienta de análisis de datos de Excel.

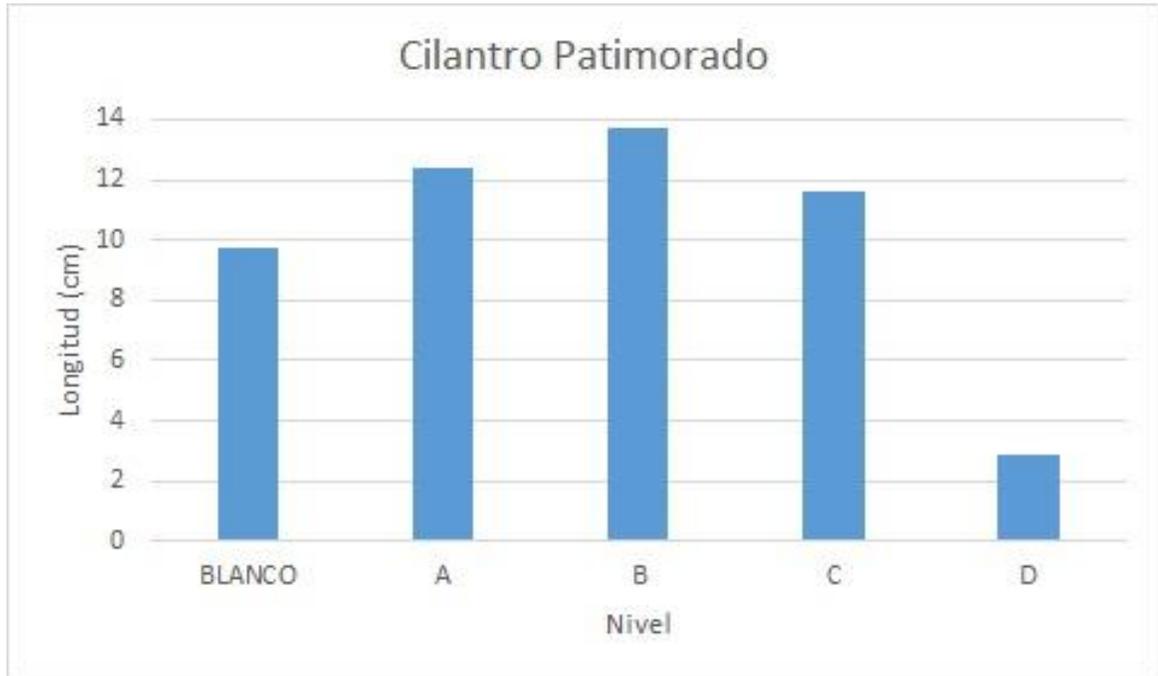
Tabla 17. ANOVA Cilantro Patimorado.

Fuentes de variación	Sumas de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F
Entre tratamientos	292.6	4	73.1	
Dentro de tratamientos (error residual)	338.6	15	22.6	3.2
Total	631.1	19	33.2	
$F_{0.05,4,15}$	3.06			

Fuente: elaboración propia.

Analizando la Tabla 17, se puede observar que el resultado obtenido por medio de la tabla de distribución F es de 3.06, siendo menor que el factor de tratamientos (F) correspondiente a 3.2, lo que indica que se rechaza la hipótesis nula, determinando que existe diferencia significativamente estadística en la longitud en centímetros de las plántulas de Cilantro Patimorado, por el cambio en los niveles del tratamiento, hay efecto del tipo de tratamiento que se utilizó como se observa en la Gráfica 1, donde se representa el promedio de las longitudes medidas en centímetros reportados en la Tabla 14.

Gráfica 1. Crecimiento Cilantro Patimorado.



Fuente: elaboración propia.

En la Gráfica 1, se observa el crecimiento promedio en centímetros de las plántulas de Cilantro Patimorado, en donde el resultado con mayor valor corresponde al nivel B con 13.75 cm de longitud, este nivel pertenece a una mezcla entre suelo y lodo de 50% cada uno, lo que indica que al adicionar lodo al suelo, este aporta nutrientes a la planta, generando un mayor crecimiento de la misma, que con el uso de solo suelo correspondiente al blanco, se obtiene un crecimiento de solo 9.75 cm de longitud, dando una diferencia de estos promedios de 4 centímetros.

Por otro lado se puede observar que con la adición de más del 50% en lodo, el crecimiento de la plántula empieza a disminuir, como se muestra con el nivel C Y D, con el uso solamente de lodo como suelo para el cultivo, correspondiente al nivel D, el crecimiento del Cilantro Patimorado es muy bajo, indicando que no se tienen las condiciones y nutrientes necesarios para un desarrollo adecuado de la hortaliza.

Lechuga Simpson.

El análisis estadístico de varianza para la Lechuga Simpson, se encuentra en la Tabla 18, el cual fue desarrollado por medio de la herramienta de análisis de datos con la que cuenta el programa Excel.

Tabla 18. ANOVA Lechuga Simpson.

Fuentes de variación	Sumas de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F
Entre tratamientos	148.4	4	37.1	
Dentro de tratamientos (error residual)	172.1	15	11.5	3.2
Total	320.4	19	16.9	
$F_{0.05,4,15}$	3.06			

Fuente: elaboración propia.

Analizando los datos del ANOVA para la Lechuga Simpson, se rechaza la hipótesis nula determinando que existe diferencia significativa en la longitud en centímetros de las plántulas, dado que el resultado obtenido de la tabla de distribución F es de 3.06 siendo menor que el factor de tratamientos (F) correspondiente a 3.2, lo que indica que hay efecto del tipo de tratamiento que se utilizó como se observa en la Gráfica 2.

Gráfica 2. Crecimiento Lechuga Simpson.



Fuente: elaboración propia.

La Gráfica 2 se realizó con el promedio de las longitudes en centímetros reportados en la Tabla 15, generando el mayor valor en el Blanco con 10.25

centímetros de longitud, donde se dio el mayor crecimiento de esta hortaliza, seguido del nivel B con 9.75 cm de longitud correspondiente a un suelo con mezcla del 50% lodo-suelo, se puede observar que los niveles A, C y D, tuvieron menores valores de longitud.

De acuerdo a lo analizado anteriormente se evidencia que en estas combinaciones el aporte que hace el lodo presente en el cultivo no es el adecuado para el crecimiento de la hortaliza, la presencia de solamente lodo, no genera un crecimiento significativo en la hortaliza comparado con los demás niveles.

Zanahoria Chantenay.

Para determinar si existe diferencia entre los niveles evaluados del tratamiento en el cultivo de la Zanahoria Chantenay, se desarrolló el análisis de varianza ANOVA que se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. ANOVA Zanahoria Chantenay.

Fuentes de variación	Sumas de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F
Entre tratamientos	81.05	4	20.3	
Dentro de tratamientos (error residual)	88.5	15	5.9	3.4
Total	169.6	19	8.9	
$F_{0.05,4,15}$	3.06			

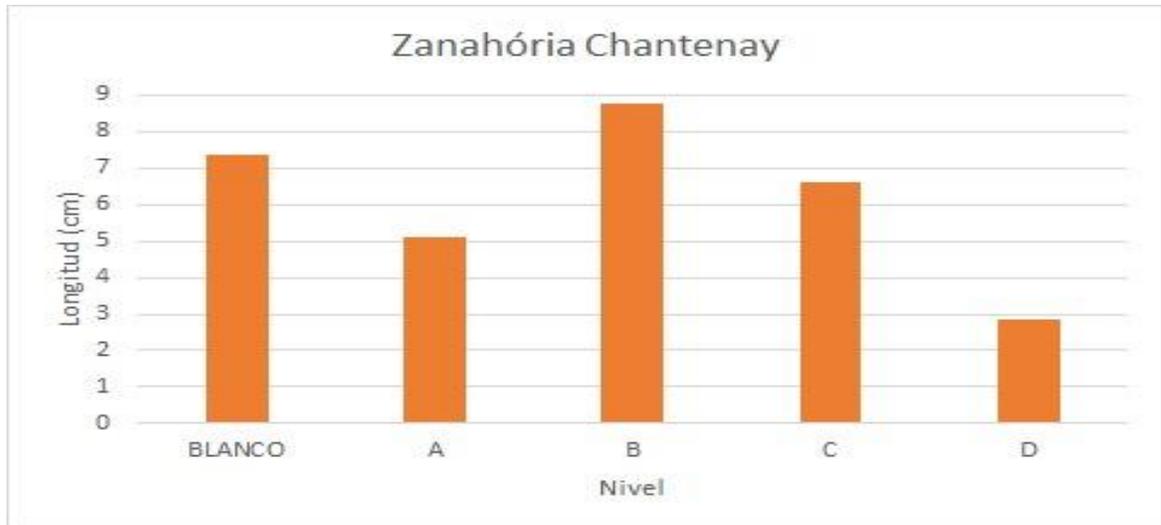
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la comparación entre el factor de tratamientos (F) y el dato obtenido por medio de la tabla de distribución F, mostrados en la Tabla 19, se rechaza la hipótesis nula, estableciendo que existe diferencia significativamente estadística en la longitud en centímetros de las plántulas de Zanahoria Chantenay, por el cambio en los niveles del tratamiento, determinando que hay efecto del tipo de tratamiento que se utilizó como se observa en la Gráfica 3, realizada con las longitudes promedio del crecimiento de la Zanahoria Chantenay reportados en la Tabla 16.

En la Gráfica 3, se observa el mayor crecimiento en el nivel B con 8.75 centímetros de longitud promedio, seguido del blanco y el nivel C, en combinaciones diferentes al 50% entre lodo-suelo, el crecimiento de la hortaliza se ve afectado disminuyendo su longitud como se muestra en los niveles A, C y D, siendo este último el menor valor de longitud con 2.87 centímetros, evidenciando

que solo lodo como base para el cultivo inhibe el crecimiento adecuado de la plántula.

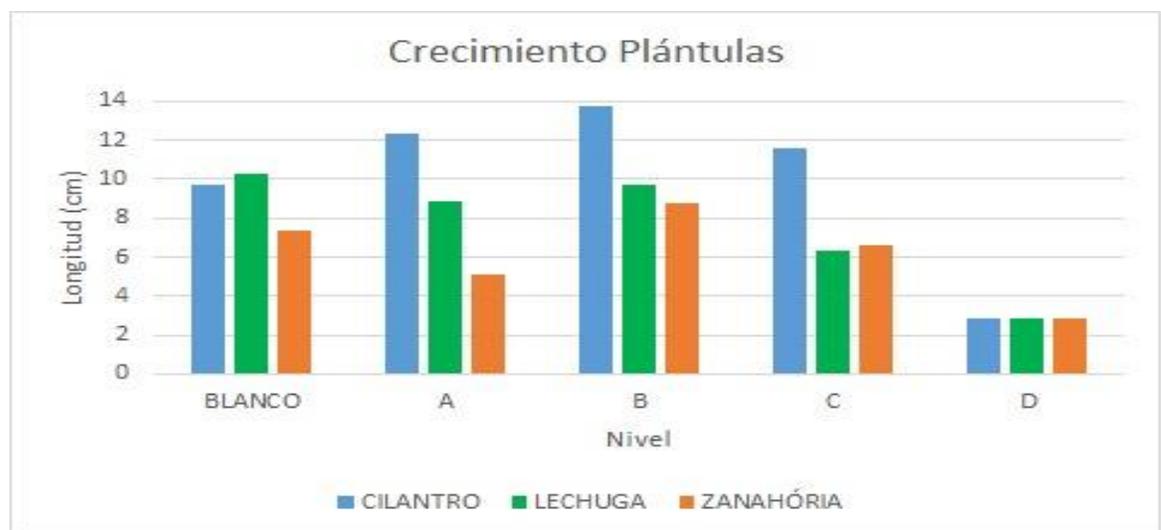
Gráfica 3 Crecimiento Zanahoria Chantenay.



Fuente: Elaboración propia.

Con base en el promedio de resultados de los diseños experimentales, se realizó la Gráfica 4, en donde se puede observar un compendio de las gráficas anteriormente mostradas de cada una de las hortalizas, evidenciando un crecimiento de las plántulas para cada nivel.

Gráfica 4. Comparativo crecimiento plántulas.



Fuente: elaboración propia.

Con el fin de determinar si el lodo adicionado al suelo, logra generar aportes nutricionales en los cultivos, se puede evidenciar que en el nivel B los valores en 2 de las hortalizas superan el valor del blanco, determinándose así que la combinación del 50% lodo y 50% suelo, es adecuada para su reproducción en la implementación de esta alternativa, a su vez se determinó que el uso de 100% lodo se debe descartar ya que inhibe un crecimiento adecuado en cualquiera de los cultivos.

4.2 RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO

La recuperación de Sulfato de Aluminio, se ubica con la segunda puntuación más alta, según la matriz evaluada en la Tabla 10, teniendo en cuenta, que esta alternativa no se encuentra descrita en el *Decreto 1287 de 2014*⁶⁸, se debe evaluar dado que bibliográficamente como lo exponen diferentes autores en sus investigaciones como Aldana, S.⁶⁹, Gallo, J y Uribe, J.⁷⁰, entre otros, se ha comprobado que los lodos generados en plantas de potabilización, contienen una gran cantidad de Aluminio residual, el cual puede ser recuperado para procesos de tratamientos de aguas.

Los lodos que se generan en la planta Llanitos, contienen una concentración del 14.69% de Aluminio, valor reportado en la Tabla 6 de la caracterización de los lodos, el cual puede ser recuperado en el tratamiento de agua residual del municipio.

Debido a que en Subachoque, la planta de agua residual trata el afluente por procesos biológicos y no cuenta con un tratamiento primario físico-químico, fue necesario determinar mediante una prueba de jarras la dosificación de sulfato de aluminio, el cual fue el evaluado para hacer la recuperación en el desarrollo de la alternativa.

4.2.1 Prueba dosificación coagulante en agua residual. Se determinó la dosis de coagulante sulfato de aluminio, necesaria para remover la mayor cantidad de turbidez en el agua residual, por medio de una prueba de jarras, así como se describió en la sección 1.6.1.

Teniendo en cuenta la Figura 1 y el valor de 8.5 de pH tomado inicialmente en el agua residual, se hizo la evaluación para la dosificación del coagulante entre 30 ppm hasta 120 ppm, rango establecido por medio de la Figura 1, luego de esto se

⁶⁸ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA.

⁶⁹ S. ALDANA, "EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO DE FACATATIVA, CUNDINAMARCA," 2017.

⁷⁰ J. GALLO, J.; URIBE, "REUTILIZACIÓN DE LODOS DE PLANTA DE POTABILIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.," 2003.

calculó el valor en mililitros para cada dosificación, iniciando en 0.5 mL y finalizando en 1.9 mL, como se muestra en el ANEXO C.

En la Tabla 20, se relacionan las concentraciones de sulfato de aluminio tipo A y su equivalente en mililitros para cada una de las 7 jarras realizadas.

Tabla 20. Volumen de coagulante.

Jarra	Coagulante (ppm)	Coagulante (mL)
1	30	0.5
2	45	0.7
3	60	1
4	75	1.2
5	90	1.4
6	105	1.7
7	120	1.9

Fuente: elaboración propia.

El ANEXO D presenta los resultados de los parámetros tomados en la prueba de jarras, para la determinación de la dosificación de coagulante para remover la mayor turbidez del agua residual.

Con base en los resultados obtenidos en la prueba de jarras, la mejor remoción de turbidez se presentó en la jarra número 7, con una turbidez inicial de 106 NTU y una turbidez final de 55 NTU, removiendo 48.11% de turbidez, equivalente a una dosificación de 120 ppm de coagulante para tratar 1 Litro de agua, siendo este valor el punto de referencia para llevar a cabo la alternativa de recuperación del coagulante sulfato de aluminio.

4.2.2 Desarrollo experimental. Se realizó un diseño de experimentos de un factor, teniendo en cuenta las variables que se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Variables recuperación sulfato de aluminio.

Variables independientes	Variables dependientes
Coagulante	Turbidez NTU
Lodo húmedo	

Fuente: elaboración propia.

Se compararon cuatro niveles, realizando tres repeticiones para cada uno, con el fin de evaluar el efecto de la dosificación de lodo húmedo y coagulante en la remoción de la turbidez del agua residual, como se muestra en Tabla 21, teniendo en cuenta la dosificación de coagulante definida correspondiente a 120 ppm equivalente a 1.9 mL, y su turbidez inicial de 106 NTU y final de 55 NTU, variando los porcentajes entre el coagulante y el lodo.

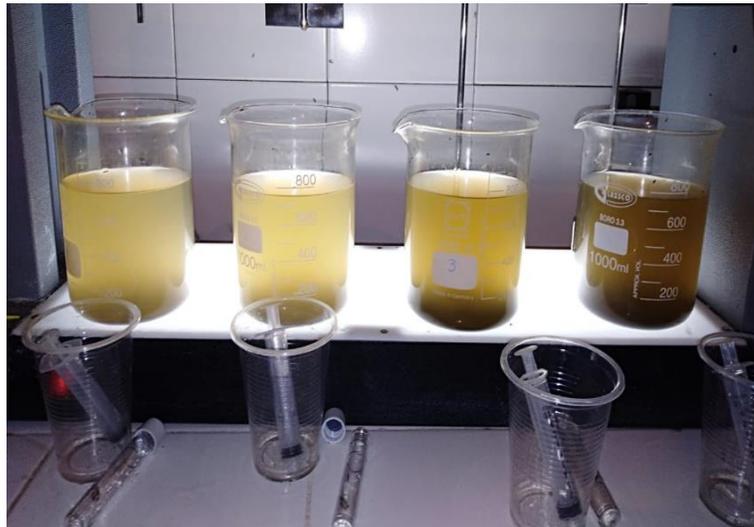
Tabla 21. Dosificación lodo húmedo coagulante.

Nivel	% Lodo	%Coagulante	Lodo (ml)	Coagulante (ml)
A	25	75	0.5	1.4
B	50	50	1	1
C	75	25	1.4	0.5
D	100	0	1.9	0

Fuente: elaboración propia.

La Figura 20, muestra uno de los ensayos de jarras realizados en el desarrollo de la alternativa de recuperación de sulfato de aluminio.

Figura 20. Ensayo de jarras lodo húmedo-coagulante.



Fuente: elaboración propia.

A continuación se describe el diseño de experimentos que se llevó a cabo:

Situación problema: Determinar el efecto de la dosificación de lodo húmedo como ayudante de coagulación y coagulante en la remoción de la turbidez del agua residual.

Variable de respuesta: Turbidez del agua residual NTU.

Objetivo experimental: Evaluar el efecto en la dosificación de lodo húmedo-coagulante en la remoción de la turbidez del agua residual.

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ No existe efecto de la relación entre la dosis de lodo húmedo-coagulante en la remoción de la turbiedad del agua residual.

$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ Existe efecto de la relación entre la dosis de lodo húmedo-coagulante en la remoción de la turbiedad del agua residual.

La Tabla 22, muestra los datos de turbidez en NTU tomados a los 60 minutos luego de haber finalizado el ensayo de jarras, en cada uno de los niveles establecidos en el diseño de experimentos para la recuperación de sulfato de aluminio.

Tabla 22. Turbidez final lodo húmedo-coagulante (en NTU).

Niveles			
A	B	C	D
75	81	84	92
86	94	103	121
87	92	113	132

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta que la turbidez inicial registrada para el agua residual es de 106 NTU y luego de la coagulación con Sulfato de Aluminio se obtuvo una turbidez final de 55 NTU, partiendo de la turbidez inicial y de los datos de turbidez de la Tabla 22, se realiza la Tabla 23, en la cual se establecen los porcentajes de remoción para cada uno de los niveles.

Tabla 23. Porcentaje de remoción de turbidez.

NIVELES			
A	B	C	D
29.25%	23.58%	20.75%	13.21%
18.87%	11.32%	2.83%	-14.15%
17.92%	13.21%	-6.60%	-24.53%

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se evidencia el porcentaje de remoción de la turbidez tomando como base la turbidez inicial correspondiente a 106 NTU.

El nivel A, el cual se realizó con una combinación de 25% lodo y 75% coagulante arrojó resultados con mayor porcentaje de remoción de turbidez, seguido del nivel B y C; en el nivel D, correspondiente a la prueba de coagulación con solo lodo, evidencia un aumento en la turbidez debido a que en este, se están adicionando partículas sólidas disueltas que se adhieren a las que se encontraban previamente en el recipiente, aumentando así la turbidez final.

4.2.3 Análisis de resultados. Los parámetros tomados durante el diseño de experimentos se encuentran en el ANEXO E.

A partir de los datos obtenidos de turbidez, se realizó un análisis estadístico ANOVA, presentado en la Tabla 24, con un nivel de significancia del 5% que se estableció teniendo en cuenta los errores aleatorios que pueden generarse por los efectos de los factores no estudiados y los errores del experimentador en la planeación y ejecución de la investigación, generando una confiabilidad de los resultados del 95%.

Tabla 24. ANOVA recuperación de sulfato de aluminio.

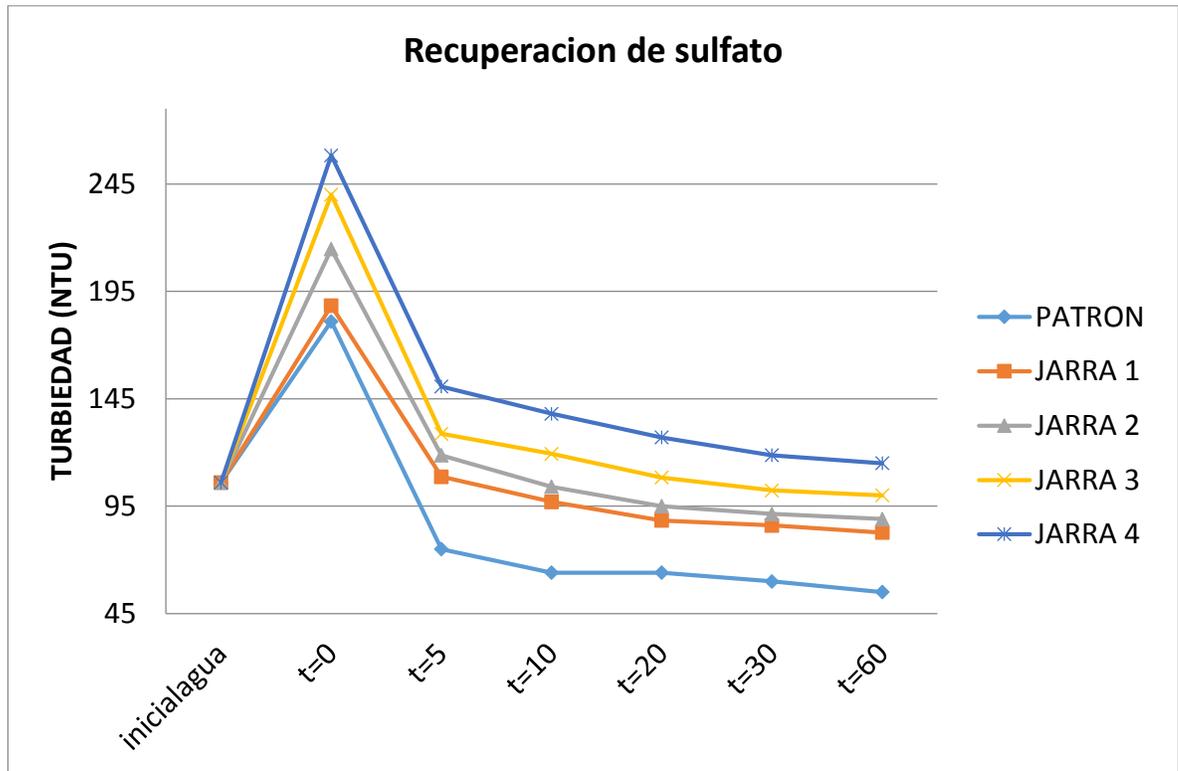
Fuentes de variación	Sumas de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F
Entre tratamientos	5775.1	4	1443.8	
Dentro de tratamientos (error residual)	1696.7	10	169.7	8.5
Total	7471.7	14	533.7	
$F_{0.05,4,15}$	3.48			

Fuente: elaboración propia.

Por medio de los resultados obtenidos en la Tabla 24, la hipótesis nula es rechazada dado que el F calculado con un valor de 8.5 es mayor que el F de tablas correspondiente a 3.48, lo que indica que existe efecto de la dosificación de lodo húmedo-coagulante en la remoción de la turbidez del agua residual.

La Gráfica 5, representa el comportamiento que tuvo el parámetro de la turbidez en cada uno de los niveles analizados, los datos fueron tomados acabada la prueba de jarras durante el tiempo de sedimentación, desde el tiempo cero hasta los 60 minutos.

Gráfica 5. Recuperación de sulfato de aluminio.

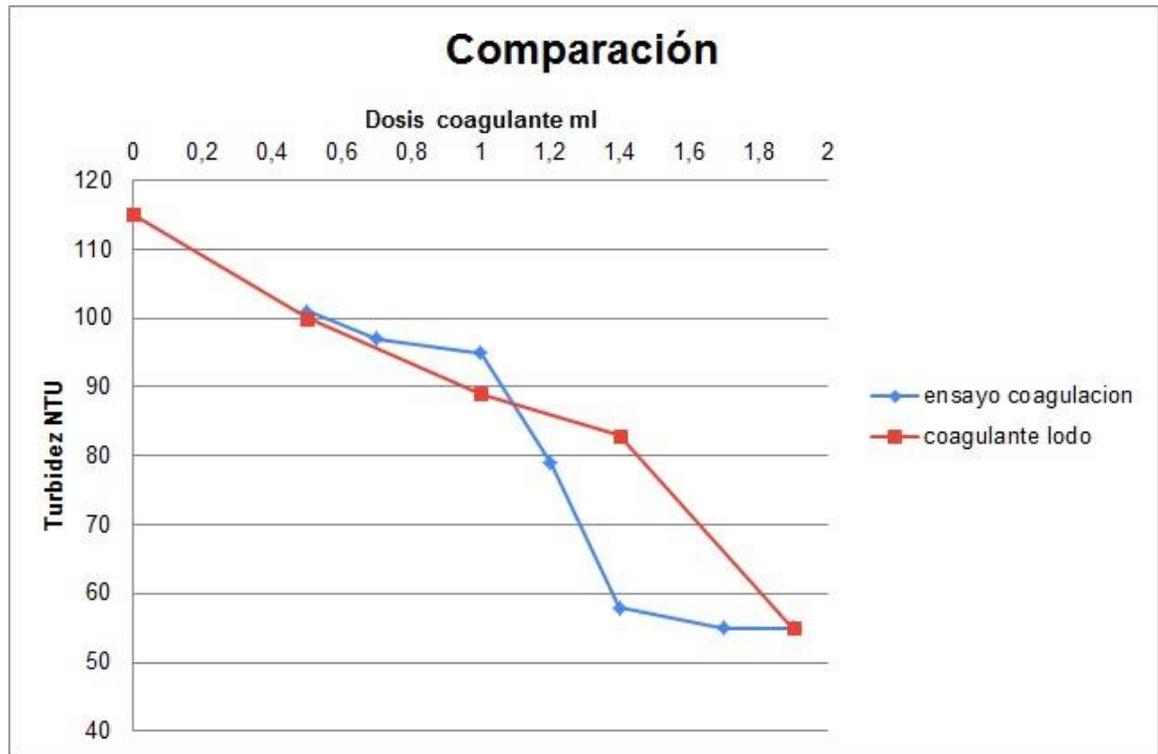


Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que en cada una de las jarras, la turbidez disminuye, aunque no igual que la remoción final tomada a los 60 minutos de la jarra patrón, analizando el comportamiento de las jarras 1 y 2 se evidencia que se le logran remover solidos por debajo de los iniciales.

En la Gráfica 6, se tiene la turbidez en NTU tomada a los 60 minutos luego de terminar los ensayos de jarras, en las pruebas de la determinación de coagulante para tratar el agua residual y del desarrollo experimental en la alternativa de recuperación de aluminio.

Gráfica 6. Ensayo coagulación y diseño experimental coagulante-lodo.



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la Gráfica 6, al aplicar la misma cantidad de coagulante en los rangos de 0.5 ml a 1 ml, la remoción de sólidos es mayor con la mezcla entre coagulante y lodo, que utilizando solamente coagulante, lo que indica que logrando un rango de dosificación adecuado se puede recuperar el aluminio residual que existe en los lodos, disminuyendo la cantidad de coagulante puro a utilizar en el tratamiento.

5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Según la evaluación realizada en el Capítulo 3. ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO., y con base en los puntajes obtenidos en la Tabla 10, la alternativa elegida para la realización de las especificaciones técnicas para su implementación en la empresa Aguas y Aseo de Subachoque, fue insumo de cultivo y mejoramiento de suelo, dado que desde un inicio fue la alternativa con mayor puntuación de acuerdo a los criterios evaluados en la matriz Pugh, al mismo tiempo es la alternativa en la que la cantidad de lodo aprovechable es mayor comparada con la cantidad de lodo que se utiliza en la recuperación de Sulfato de Aluminio.

En el Diagrama 2, se evidencia el proceso que se debe tener en cuenta para realizar las especificaciones y dimensionamiento de equipos para llevar a cabo la alternativa de insumo de cultivo y mejoramiento de suelo.

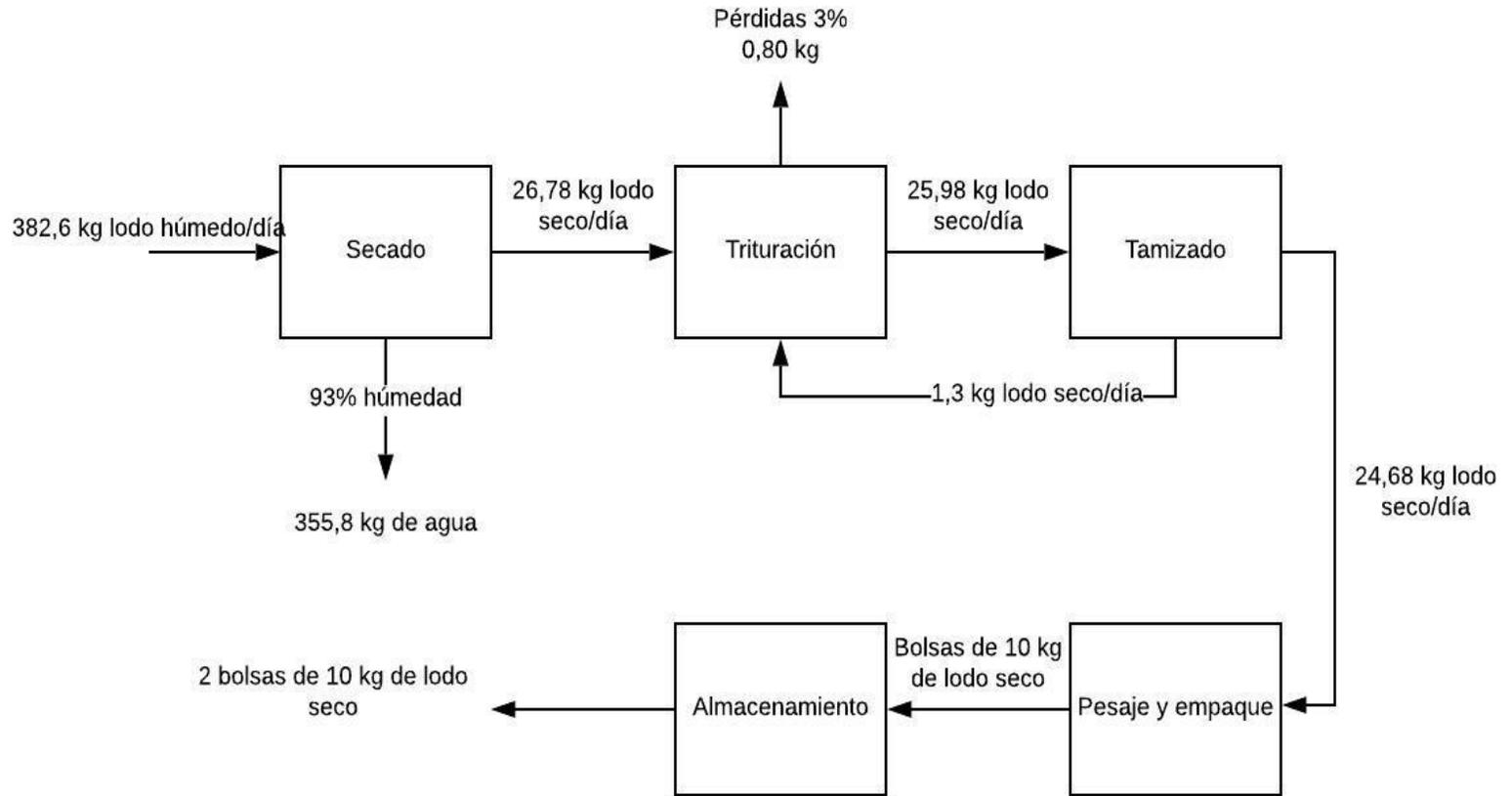
Las especificaciones técnicas desarrolladas durante este capítulo, se hicieron con base en 20 L/s de agua que se potabilizan en la PTAP Llanitos, en donde se generan alrededor de 896 kg de lodo al día con una humedad de 93%, los cuales son almacenados en los lechos de secado que se encuentran a un costado de la planta.

Luego de que los lodos estén deshidratados, el operario realizará la extracción de ellos con ayuda de una herramienta de mano, los cuales serán recolectados en un tanque de almacenamiento de baja capacidad diariamente, estos lodos serán depositados en la tolva de alimentación a la trituradora, en donde se obtendrán partículas de aproximadamente de 2mm de diámetro, el producto triturado será conducido a un tamiz con el fin de separar las partículas de mayor diámetro, las cuales serán retornadas al proceso de trituración y el material más fino será dispuesto en bolsas de 10 kg para su almacenamiento y posterior distribución.

Para el procesamiento de los lodos que se generan en la planta Llanitos se requieren equipos de baja capacidad y el espacio necesario para su instalación será adecuado en las áreas disponibles de la planta.

Los equipos para cada proceso se seleccionaron teniendo en cuenta revisiones bibliográficas, en la cuales se realizan procesos similares a la alternativas propuesta, a su vez se realizaron cotizaciones vía telefónica con empresas, que de acuerdo al proceso, la cantidad y tipo de material a utilizar, la capacidad requerida y el espacio disponible, recomiendan los equipos en cada proceso.

Diagrama 2. Diagrama de proceso de la alternativa.



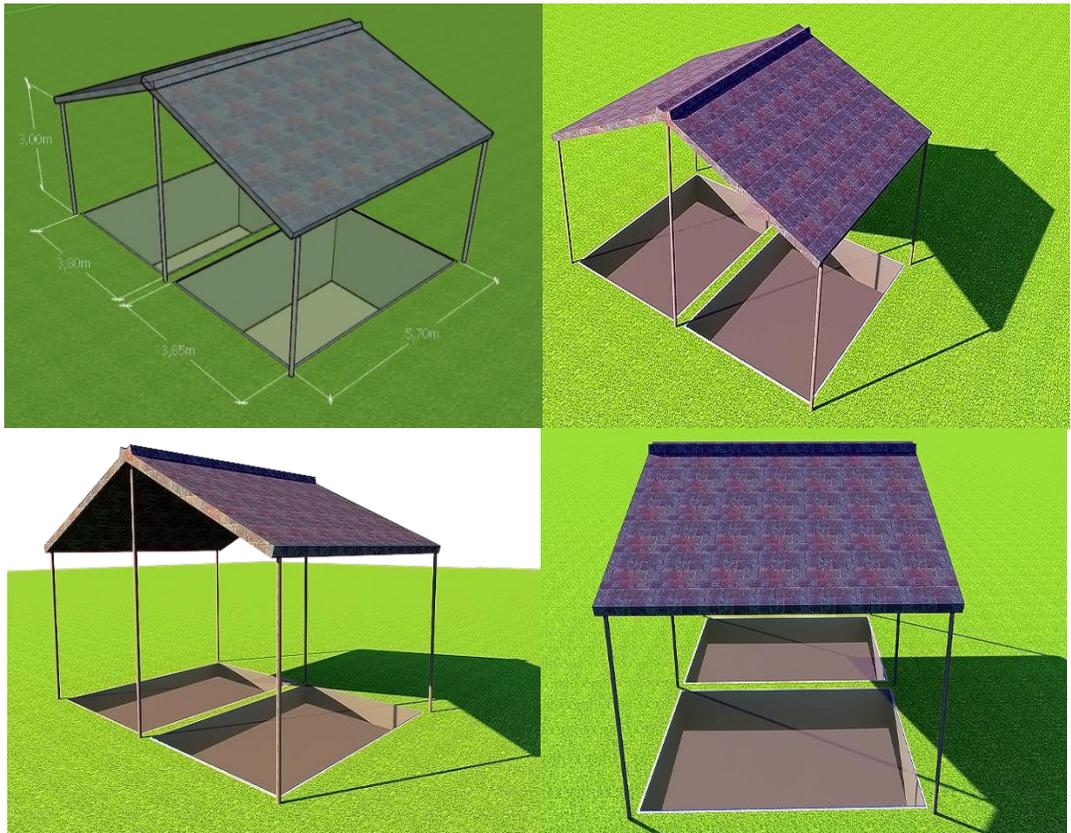
Fuente: elaboración propia.

5.1 SECADO

Los lodos generados luego del retrolavado, se dejaron secar por un periodo de tiempo de 4 horas, obteniendo alrededor de 26.89 kg/día de lodo seco, dado su contenido de humedad, correspondiente al 93%, se logra disminuir considerablemente la cantidad de lodo.

Se ve la necesidad de realizar unas modificaciones en los lechos de secado con el fin de evitar retener mayor cantidad de agua por condiciones climáticas como la lluvia. Se debe instalar un borde en el contorno de los lechos de secado para evitar que el suelo y el agua de los alrededores se depositen en ellos, con ladrillos macizos de dimensiones de 25 cm x 5.5 cm x12.5 cm. Es necesario cubrir los lechos con tejas de PVC de fibra de vidrio de material resistente, alta durabilidad, total hermeticidad para evitar filtraciones de líquidos, en una cubierta tipo dos aguas, las tejas estarán instaladas sobre vigas metálicas dispuestas en forma de panel de teja para que den soporte a las mismas, la distancia entre el piso y la cima del techo será de 3 m y la cubierta abarcará la totalidad de los lechos como se puede ver en la Figura 21.

Figura 21. Diseño cubierta de lechos.



Fuente: elaboración propia.

5.2 TRITURACIÓN

En este proceso se usan los lodos secos recolectados previamente y se disponen en la tolva de alimentación a la trituradora marca TRAPP, modelo TR200, la cual cumple la función de disminuir el tamaño de partícula aproximadamente a 2mm de diámetro, homogenizando la materia prima.

Este equipo tiene una altura de 0.62 m y profundidad de 0.52 m, su potencia es de 1.5 hp y trabaja a 3600 r.p.m, tiene una capacidad de producción de máximo 1400 kg/h, cuenta con cuchillas fijadas al eje del motor, tolva removible con sistema de seguridad, lo que la hace ideal para abono orgánico, cortar y moler forrajes, cascara, césped, hojas, ramas, residuos domésticos, restos de frutas y verduras, café, maderas mohosas, paja, etc., luego del proceso de trituración los residuos pueden ser utilizados en la preparación de compuestos orgánicos para la fertilización del suelo (Figura 22). Se estima que durante el proceso de trituración existen pérdidas de material, por lo que se considera que a la salida se obtiene en 97% del lodo seco que es alimentado.

Figura 22. Tritrador TR200.



Fuente: Trapp. 2019. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.trapp.com.br/es/produutos/compostaje/trituradores-de-ramas%2C-troncos-y-residuos-organicos./produto/tr-200>⁷¹.

⁷¹ TRAPP, "TRITURADORES DE RAMAS, TRONCOS Y RESIDUOS ORGANICOS," 2019, <http://www.trapp.com.br/es/produutos/compostaje/trituradores-de-ramas%2C-troncos-y-residuos-organicos./produto/tr-200>.

5.3 TAMIZADO

El producto de la trituradora alimenta el tamiz, el cual cumple la función de separar las partículas de mayor tamaño, retornando las más grandes a la trituradora para iniciar de nuevo el proceso.

Para este proceso se usará un equipo de tamiz de vaso (Figura 23), marca Sanyuantang, modelo HXSJ-600, construida en acero al carbono, con capacidad de 10 kg/h a 10 toneladas/h; este equipo basa su funcionamiento en una fuerza centrífuga dada por la masa que circula alrededor del eje con el tamiz instalado horizontalmente; trabaja con material seco o húmedo y cuenta con una alta eficiencia entre el 90% - 95%.

Figura 23. Tamiz rotativo.



Fuente: Alibaba. 2019. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: https://sanyuantang.en.alibaba.com/product/60793161450-802111925/China_best_price_tumbler_sieve_equipment.html?spm=a2700.icbuShop.84.10.61e15628twzsfV⁷².

⁷² Alibaba, “Tamiz de Vaso Sanyuantang,” 2019, https://sanyuantang.en.alibaba.com/product/60793161450802111925/China_best_price_tumbler_sieve_equipment.html?spm=a2700.icbuShop.84.10.61e15628twzsfV.

5.4 PESAJE Y EMPAQUE

De acuerdo al lodo seco que ingresa al inicio del proceso, se calcula que diariamente se obtendrán 24.78 kg de material procesado, los cuales serán empacados de forma manual en sacos de tejido de polipropileno de 10 kg (Figura 24).

Figura 24. Sacos de polipropileno.



Fuente: iShers. 2019. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://ishers.com.ve/tienda/domestico/sacos-polipropileno/>⁷³.

Figura 25. Báscula.



Fuente: Balanzas de Colombia. 2019. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://cibalanzasdecolombia.com/producto/bascula-de-piso-industrial-capac-150kg/>⁷⁴.

Luego de haber llenado y pesado los sacos de 10 kg, estos serán cerrados haciendo uso de una cosedora-cerradora, marca Newlong NP-7A, portátil y liviana haciéndola fácil de utilizar como se muestra en la Figura 26.

⁷³ ISHERS, "SACOS DE POLIPROPILENO," 2019, <http://ishers.com.ve/tienda/domestico/sacos-polipropileno/>.

⁷⁴ BADECOL, "BASCULA DE PISO INDUSTRIAL," 2019, <http://cibalanzasdecolombia.com/producto/bascula-de-piso-industrial-capac-150kg/>.

Figura 26. Maquina cosedora-cerradora.



Fuente: Envapack. 2013. [En línea]. [Consultado 4 de marzo de 2019].
Disponible en: <https://www.envapack.com/2013/07/cosedoras-de-sacos-y-codificadoras/>⁷⁵.

⁷⁵ ENVAPACK, “COSEDORA DE SACOS Y CODIFICADORAS,” 2019, <https://www.envapack.com/2013/07/cosedoras-de-sacos-y-codificadoras/>.

6. ANÁLISIS DE COSTOS

Con base en los flujos del Diagrama 2 y los equipos necesarios para el proceso descritos en el capítulo anterior, se llegó a un costo aproximado del producto, teniendo en cuenta aspectos como lo son gastos energéticos, operativos (personal) y logísticos, debido a que se parte de resultados experimentales, se contempló a su vez una inversión aproximada en los equipos necesarios para la implementación de esta alternativa.

5.5 COSTOS OPERACIONALES U OPEX

Relacionados con los gastos requeridos para el mantenimiento y la operación de un proceso, cubriendo la mano de obra, laboratorio, servicios públicos y mantenimiento.

5.5.1 Mano de obra. Para realizar el proceso al que deben ser sometidos los lodos como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo, se requiere de un operario el cual tiene un salario de \$1'521,000 y todas sus prestaciones sociales, debido a que se estipula que la alternativa requiere de una hora diaria para su desarrollo, al empleado se le reconocerá adicionalmente el valor de la misma equivalente a \$6,350 de acuerdo a su salario, lo que corresponde mensualmente a \$190,500 y anualmente a \$2'286,000.

5.5.2 Laboratorio. Por reglamentación y generando confiabilidad en la calidad del producto, se deben realizar análisis a los lodos que se producen en la planta dado que la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca así lo estipula, esos análisis deben ser basados en los parámetros que se definen en la normatividad colombiana referente a caracterización de biosólidos mencionados en el *Decreto 1287*⁷⁶ y en la *Norma Técnica Colombiana 5167*⁷⁷ en donde se definen los parámetros para los productos de la industria agrícola, al igual que parámetros fisicoquímicos como pH, humedad, temperatura y densidad aparente; se estima un valor de \$1.000.000 tomando de referencia los análisis realizados en el presente proyecto.

5.5.3 Servicios públicos. Teniendo en cuenta que en la planta se debe hacer la instalación de equipos, los cuales generan únicamente consumo de energía de acuerdo a sus especificaciones, es necesario determinar el costo que se generará anualmente para el proceso Tabla 25, considerando que el valor de 1 kWh cuesta \$465.9707 en el municipio de Subachoque, estimando que el tratamiento de los lodos requerirá de máximo 1 hora diaria para llevar a cabo el proceso.

⁷⁶ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, "DECRETO NUMERO 1287."

⁷⁷ COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA.

Tabla 25. Costos de energía.

Equipo	Potencia motor (kW)	Costo kWh	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Trituradora TRAPP-TR200	1.11855	465.9707	15,636	187,632
Tamiz Sanyuantang HXSJ-600	0.8		11,183	134,196
Bascula COMODORE	0.11		1,538	18,456
Cosedora de sacos Newlong NP-7 ^a	0.11		1,538	18,456
Total	2.13855		29,895	358,740

Fuente: elaboración propia.

5.5.4 Mantenimiento de equipos. Dado que el uso de los equipos, para llevar a cabo el proceso no es de forma continua, puesto que serán usados solamente una hora al día, se estima un costo de mantenimiento anual equivalente al 2% del valor inicial del equipo como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26. Costos mantenimiento.

Equipo	Precio	Costo de mantenimiento
Trituradora	\$1,428,000	\$28,560
Tamiz	\$1,190,000	\$23,800
Bascula	\$255,000	\$5,100
Cosedora	\$595,000	\$11,900
Total	\$3,468,000	\$69,360

Fuente: elaboración propia.

5.5.5 Costo del producto. Para determinar el valor del producto obtenido, se tienen en cuenta todos los costos anuales, requeridos para la producción del mismo y se estima un porcentaje equivalente al 24% de ganancias.

En la Tabla 27 se realizó un compendio de los gastos mencionados anteriormente, más un estimativo de \$500.000 que se tomó, como gastos extras que puedan surgir durante el año, en el desarrollo de la propuesta.

Tabla 27. Costo anual alternativa.

Ítem	Costo (\$/año)
Mano de obra	2'286,000
Laboratorio	1'000,000
Servicios públicos	358,740
Mantenimiento de equipos	69,360
Bolsas 890 unidades	442,775
Otros	500,000
Total	4'656,875

Fuente: elaboración propia.

Asumiendo que la planta trabaja 360 días al año, se obtendrían 888 bolsas de 10 kg anualmente, teniendo en cuenta el costo de producción, se calculó que el valor por bolsa de producto es de \$5,250, para definir el costo de venta se tiene en cuenta el porcentaje de ganancias mencionado anteriormente, obteniendo un costo final de \$6,500, generándose una ganancia anual de \$5'772,000.

5.6 COSTOS DE CAPITAL O CAPEX

Este valor hace referencia a los costos de inversión en la compra de un activo fijo, o para añadir valor a un activo existente.

5.6.1 Costos de equipos. Los equipos para el proceso fueron descritos en el capítulo 5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS, en la Tabla 28 se muestra los costos de inversión para estos:

Tabla 28. Costos de equipos.

Equipo	Costos (\$)
Trituradora	\$1'428,000
Tamiz	\$1'190,000
Balanza	\$255,000
Cosedora	\$595,000
Total	\$3'468,000

Fuente: elaboración propia.

El costo total de inversión en equipos corresponde a un valor de \$ 3'468.000, que cubre la totalidad de los equipos requeridos para la implementación de la alternativa.

5.6.2 Costos de adecuación. En estos costos se contemplan las modificaciones que se deben realizar a los lechos de secado para evitar perturbaciones debidas al clima. En la Tabla 29 se relacionan los diferentes materiales y gastos que requiere la adecuación de los lechos.

Tabla 29. Costos de adecuación lechos de secado.

Ítem	Costo (\$)
Tejas de PVC x 35 unid	745,500
Estructura	1'200,000
Contorno de lechos en ladrillo x107 unid	84,530
Mano de obra	700,000
Total	2'730,030

Fuente: elaboración propia.

Los costos de capital totales para la implementación de la propuesta son iguales a \$6'198,000.

Así mismo, teniendo en cuenta que en el municipio de Subachoque se encuentra que la bolsa de 10 kg de acondicionador de suelo oscila entre los valores de \$15,000 a \$20,000, la producción del acondicionador de suelo obtenido en esta alternativa genera un ahorro de 56,6% a los agricultores.

7. CONCLUSIONES

- De acuerdo al análisis realizado en cuanto a la producción de lodo que se genera en el proceso de potabilización en la planta Llanitos, se estimó que diariamente se producen 382.6 kg de lodo húmedo el cual luego de ser sometido al proceso de deshidratación deja una torta de lodos que constituyen alrededor de 26.78 kg estimados mediante diversas ecuaciones y datos propios de la planta, el lodo presentó características propias de la categoría A definidas así en el Decreto 1287 de 2014 luego de su caracterización en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Con base en el Decreto 1287 de 2014 el cual enuncia las alternativas de aprovechamiento para los lodos según su categoría, se realizó una matriz de selección utilizando la metodología Pugh, la cual arrojó tres alternativas con puntaje relevante correspondientes a insumo de cultivo y mejoramiento de suelo, recuperación de sulfato de aluminio e insumo en materiales de construcción, descartando esta última dado que requiere de equipos de alta temperatura por lo que se hacen de difícil acceso. Las dos restantes fueron evaluadas por medio de un diseño de experimentos obteniendo resultados satisfactorios en ambos casos, por lo que se tuvo que analizar diferentes factores para determinar la mejor alternativa, la implementación en la recuperación de sulfato de aluminio se realiza en agua residual, teniendo en cuenta que la PTAR del municipio no realiza tratamiento fisicoquímico se tendría que hacer una inversión mayor en su implementación, mientras que la alternativa de insumo de cultivo y mejoramiento de suelo no requiere de costos mayores y a su vez demanda mayor cantidad de lodo para su aprovechamiento, por lo que se decidió escoger esta alternativa para su implementación.
- Se estableció una serie de procesos unitarios para la ejecución de la alternativa de insumo de cultivo y mejoramiento de suelo, correspondientes a secado, trituración, tamizaje, pesaje y empaque, seleccionando cada uno de los equipos necesarios para llevar a cabo estos procesos, y obtener aproximadamente 60 bolsas de producto mensual, dando solución a la problemática presentada inicialmente.
- El costo de producción u OPEX para la alternativa de insumo de cultivo y mejoramiento de suelo equivale a \$4'656,875 anuales, que incluyen mano de obra, laboratorios, servicios públicos y mantenimiento, a su vez se pudo estimar el costo del producto siendo \$6,500 que comparado con los productos comerciales genera un ahorro del 56,6% a los agricultores del municipio. El costo de capital o CAPEX se definió a partir del costo de los equipos y de la adecuación requerida en los lechos de secado, dando un total de \$6'148,000.

8. RECOMENDACIONES

- Se sugiere evaluar los cultivos que se generen haciendo uso del lodo, verificando que no se alteren ningunas de las propiedades que garanticen un óptimo crecimiento y calidad para su consumo.
- Dado el gran contenido de aluminio presente en los lodos es recomendable tratar los mismos con cal o algún tipo de sustancia química que logre precipitar el hidróxido de aluminio y disminuir las concentraciones presentes de este en el lodo.
- Se recomienda analizar si la producción de la alternativa debe realizarse diariamente como se estipuló en el proyecto o en periodos mensuales, buscando disminuir costos pero teniendo en cuenta el espacio requerido para el almacenamiento del lodo sin procesar.
- Se recomienda realizar un estudio específico en el rango para la recuperación de sulfato de aluminio de 0.5 mL a 1 mL, con el fin de determinar en qué porcentaje se puede recuperar el aluminio residual que tienen los lodos.

BIBLIOGRAFIA

- AEVERSU. “VALORIZACIÓN ENERGÉTICA,” 2019. <https://aeversu.org/valorizacion-energetica/>.
- AGUILAR, M.I.; SAEZ, J.; LLORENS, M.; SOLER, A.; ORTUÑO, J.F. *TRATAMIENTO FISICO-QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES*. España: Universidad de Murcia, 2002. <https://books.google.com.co/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&dq=coagulation+y+floculacion&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjNw6mauaPkAhUJnlkKHf3LB6cQ6AEIKDAA#v=onepage&q=coagulation+y+floculacion&f=false>.
- ALDANA, S. “EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO DE FACATATIVA, CUNDINAMARCA,” 2017.
- ALIBABA. “TAMIZ DE VASO SANYUANTANG,” 2019. https://sanyuantang.en.alibaba.com/product/60793161450-802111925/China_best_price_tumbler_sieve_equipment.html?spm=a2700.icbuShop.84.10.61e15628twzsfV.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. *AGUA: SU CALIDAD Y TRATAMIENTO*. Mexico, 1968.
- . “STANDARD FOR ALUMINIUM SULFATE-LIQUID, GROUND, OR LUMP.” *AWWA Catalog*, 1999.
- ARBOLEDA, JORGE. “TEORIA DE LA COAGULACION DEL AGUA.” *Teoría y Práctica de La Purificación Del Agua*, 2000, 793.
- BADECOL. “BASCULA DE PISO INDUSTRIAL,” 2019. <http://cibalanzasdecolombia.com/producto/bascula-de-piso-industrial-capac-150kg/>.
- CANIANI, D., S. MASI, I. M. MANCINI, and E. TRULLI. “INNOVATIVE REUSE OF DRINKING WATER SLUDGE IN GEO-ENVIRONMENTAL APPLICATIONS.” *Waste Management* 33, no. 6 (2013): 1461–68. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.02.007>.
- CHILE, MINISTERIO DE AGRICULTURA GOBIERNO DE CHILE (CONAF). “PLANTACIONES FORESTALES,” 2011. <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/plantaciones-forestales/>.
- COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. “0330 - 2017,” 2017. <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf>.

COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. "DECRETO 3930," 2010.

COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. "REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO," 2000.

COLOMBIA, MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. "DECRETO NUMERO 1287," 2014, 15.

COLOMBIA, MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. "DECRETO 1575 DE 2007," 2007.
https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Decreto1575_20070509.htm.

———. "RESOLUCION 000082/2009," 2009.

COLOMBIA, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. "RESOLUCIÓN 2115/2007." *Gaceta Oficial*, 2007, 23.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

COLOMBIA, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. "DECRETO 2676 DE DICIEMBRE DE 2000," no. diciembre 22 (2000): 13.
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Decreto-2676-de-2000.pdf>.

COMISION NACIONAL DEL AGUA. "MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO: DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS," 2015.

E-CONSTRUIR. "LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION," 2019. <http://e-construir.com/materiales/>.

ENVAPACK. "COSEDORA DE SACOS Y CODIFICADORAS," 2019.
<https://www.envapack.com/2013/07/cosedoras-de-sacos-y-codificadoras/>.

FELIX, PEREZ GARCIA JOSE MANUEL, PITA VILLAMIL. "VIABILIDAD, VIGOR, LONGEVIDAD Y CONSERVACIÓN DE SEMILLAS MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION SecRETAUIncrNranE ^ TECNICA," 2016, 16. <https://www.coiaclc.es/wp-content/uploads/2016/05/Viabilidad.pdf>.

FUENTES AGUILAR, LUIS. "INTERPRETACION Y ANALISIS DE SUELOS." *Investigaciones Geográficas* 1, no. 4 (1971). <https://doi.org/10.14350/rig.58865>.

GALLO, J.; URIBE, J. "REUTILIZACIÓN DE LODOS DE PLANTA DE POTABILIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.," 2003.

GAMARRA, CYNTHIA, and ANTERO JOSE Entero José Nicolás DIAZ LEZCANO, MAURA ISABEL VERA DE ORTIZ, MIRTHA GALEANO, MARIA DEL PILAR CABRERA CARDUS. "RELACION CARBONO-NITROGENO EN SUELOS DE SISTEMAS SILVOPASTORILES EL CHACO PARAGUAYO." *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9, no. 46 (2018): 4–26. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>.

GUTIERREZ, H., and R DE LA VARA. *ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS*. Edited by MxGraw-Hill Interamericana. Segunda. México D.F., 2008.

ING. SHEILA C.S.S. "LECHOS DE SECADO DE LODOS RESIDUALES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS," 2018. <https://civilgeeks.com/2018/03/17/lechos-secado-lodos-residuales-tratamiento-aguas/>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN, ICONTEC. "NTC-ISO 5667-13," 1998.

———. "NTC 3903," 2001.

———. "NTC 5167," 2004.

INSTITUTO VASCO DE ESTADISTICA. "ZONA VERDE," 2019. https://www.eustat.eus/documentos/opt_0/tema_445/elem_1795/definicion.html.

ISHERS. "SACOS DE POLIPROPILENO," 2019. <http://ishers.com.ve/tienda/domestico/sacos-polipropileno/>.

LEAL, R. *APLICACION DE LA METODOLOGIA DMAMC (DEFINIR, MEDIR, ANALIZAR, MEJORAR, CONTROLAR) DE SEIS SIGMA PARA LA MEJORA DEL RETORNO SOBRE ACTIVOS DE LA FLOTA DE RENTA DE MAQUINARIA PESADA*. Guatemala, 2005.

MARÍA CAMILA TORRES CORTÉS. "PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PTAR DE LA EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA." *ABA Journal* 102, no. 4 (2017): 24–25. <https://doi.org/10.1002/ejsp.2570>.

NUÑEZ ZAUR, JUAN RICARDO PEÑA CASTRO, MARGARETH. "RECUPERACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO A PARTIR DE LODOS PTAP," 2011, 56.

RAMIREZ, A. *MANEJO DE LODOS PRODUCIDOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, PLANTA II, DEL MUNICIPIO DE CARTAGO, VALLE*. Manizales, 2003.

RAMIREZ, FRANCISCO. "LODOS PRODUCIDOS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE." *Técnica Industrial*, 2008, 46–52.

RODRIGUEZ TORRES, JOSE NICOLAS. "PROPUESTA METODOLOGICA PARA TRATAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES DE PLANTAS DE POTABILIZACION EN LA SABANA DE BOGOTÁ (ESTUDIO DE CASO MADRID, CUNDINAMARCA)." *Instname:Universidad Libre*, 2018.

ROMERO, J. *POTABILIZACION DEL AGUA*. Edited by Escuela colombiana de ingeniería. Tercera., n.d.

ROZO, L., & SUTA, I. *DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA PLANTA "EL GATILLO" DE LA EAOO SAS ESP*. Bogotá, D.C: Universidad de América, 2011.

TRAPP. "TRITURADORES DE RAMAS, TRONCOS Y RESIDUOS ORGANICOS," 2019. <http://www.trapp.com.br/es/productos/compostaje/trituradores-de-ramas%2C-troncos-y-residuos-organicos./produto/tr-200>.

VASQUEZ ALEMAN, JUAN PABLO; VARGAS MARTINEZ, GABRIELA. "APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE FUNZA, COMO INSUMO DE CULTIVO Y MEJORAMIENTO DEL SUELO," 2018, 90.

WANG, MIN JIAN. "LAND APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE IN CHINA." *Science of the Total Environment* 197, no. 1–3 (1997): 149–60. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)05426-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)05426-0).

ANEXOS

ANEXO A

RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL LODO LABORATORIO IGAC

	INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Q-37 GESTIÓN AGROLÓGICA			FECHA AAAA-MM-DD 2019-11-13	
	NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO <u>CAMILA CASTRO</u>		TIPO DE MUESTRA <u>SUELO</u>	No. SOLICITUD <u>4082_1</u>	
	DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN <u>Cundinamarca - Subachoque</u>		DIRECCIÓN DEL CLIENTE <u>CALLE 18 BIS NO. 3 - 31</u>		
SUPLEMENTO DE RESULTADOS <input type="checkbox"/> DE FECHA _____					
No. DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	CIC		
MQ1-32564	SUELO	LODO SECO PTAP	35.264		
Observaciones:					
<small> *CaCO₃: (+) = BAJO, (++) MEDIO, (+++) = ALTO, (++++) Muy Alto, (-) = No presente; 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 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) entregadas por el cliente. Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 48-51 Bogotá, Telefex 3694016 ó 3694000 Ext. 91548 y 91266, mail: laboratorio@igac.gov.co Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio. Certificaciones BVQI para las normas ISO 9001:2015, NTCGP 1000:2009 e ISO 14001:2015 </small>					
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:					
_____ JAIME ALVAREZ HERRERA NOMBRE					
_____ Firma					
Página 1 de 2					

	INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Q-37			FECHA			
	GESTIÓN AGROLÓGICA			AAAA-MM-DD			
				2019-11-13			
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		CAMILA CASTRO		TIPO DE MUESTRA	SUELO	No. SOLICITUD	4082_1
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Subachoque					
SUPLEMENTO DE RESULTADOS		<input type="checkbox"/>	DE FECHA		DIRECCIÓN DEL CLIENTE		
		CALLE 18 BIS NO. 3 - 31					
Condición de la muestra		Explicación:					
APROBADA		N.A					
Fecha de recepción de la muestra		Fecha de pago de la muestra		Fecha de ejecución de los análisis			
2019-10-31		2019-11-05		2019-11-08			
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 Ácido de Amonio 1M pH 7 – Volumétrico cuantificación por volumetría.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.		0,179 cmol+/kg	2,27 cmol+/kg	4,16 cmol+/kg		
CONVERSIÓN DE UNIDADES(CUANDO SE REQUIERA)							
N.A							
Cualquier inquietud puede comunicarse con:							
SANDRA CASTRO EXT.91308							
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:		JAIME ALVAREZ HERRERA					
		NOMBRE		Firma			

IGAC		INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Q-48				FECHA	
		GESTIÓN AGROLÓGICA				AAAA-MM-DD	
						2019-10-24	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		CAMILA CASTRO		TIPO DE MUESTRA		SUELO	
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Subachoque				No. SOLICITUD 4018_1	
SUPLEMENTO DE RESULTADOS		DE FECHA		DIRECCIÓN DEL CLIENTE		CALLE 18 BIS NO. 3 - 31	
No. DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	ALUMINIO TOTAL (%)	ACIDOS (%)		
MQ1-06943	SUELO	-	LODO SECO PTAP	14.89	27.76		
Observaciones:							
<p> <small> CACOS: (+) = BAJO, (++) = MEDIO, (+++) = ALTO, (++++) Muy Alto, (-) = No presente, N.A = No Aplica, N.E = No específico, N.D = No Detectado; SAT = Sulfuro; S.T = Selenio Total; S.A.I (%) = Porcentaje Saturación Ácido Intercambiable; S.B (%) = Porcentaje Saturación de Bases; PSI = Porcentaje Saturación de Sodio 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 contactar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 45-51 Bogotá, Telefax: 3594016 ó 3594000 Ext. 91548 y 91266, mail: laboratorio@igac.gov.co Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio. Certificaciones BVQI para las normas ISO 9001:2015, NTCCP 1000:2009 e ISO 14001:2015 </small> </p>							
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:				JAIME ALVAREZ HERRERA		Firma	
				NOMBRE			

IGAC		INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Q-48			FECHA	
		GESTIÓN AGROLÓGICA			AAAA-MM-DD	
					2019-10-24	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		CAMILA CASTRO		TIPO DE MUESTRA	SUELO	
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Subachoque		No. SOLICITUD 4018_1		
SUPLEMENTO DE RESULTADOS <input type="checkbox"/>		DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 18 BIS NO. 3 - 31			
Condición de la muestra		Explicación:				
APROBADA		N.A				
Fecha de recepción de la muestra		Fecha de pago de la muestra		Fecha de ejecución de los análisis		
2019-10-01		2019-10-04		2019-10-18		
Método		Condiciones específicas o ambientales del método		Incertidumbre estimada (Si aplica)		Límite de detección (Si aplica)
Digestión en frío ácido fluorhídrico; cuantificación absorción atómica.		Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.		N.A		N.A
Límite de cuantificación (Si aplica)		N.A				
CONVERSIÓN DE UNIDADES(CUANDO SE REQUIERA)						
N.A						
Cualquier inquietud puede comunicarse con:						
Sandra Castro, est. 91308						
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:		JAIMÉ ALVAREZ HERRERA			Firma	
		NOMBRE				
Página 2 de 2						

IGAC		INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Q-56				FECHA		
		GESTIÓN AGROLÓGICA				AAAA-MM-DD		
						2019-10-24		
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		CAMILA CASTRO		TIPO DE MUESTRA	SUELO		No. SOLICITUD	4018_1
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Subachoque						
SUPLEMENTO DE RESULTADOS		<input type="checkbox"/>	DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		CALLE 18 BIS NO. 3 - 31		
No. DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	ZINCO TOTAL (mg/Kg)	ZnO (mg/Kg)			
MQ1-3648	SUELO	-	LODO SECO PTAP	178.33	221.87			
Observaciones:								
<p>*CICLOS: (I) = BAJO, (II) MEDIO, (III) = ALTO, (IV) Muy Alto, (-) = No presente; N.A = No Aplica, N.E = No específico, N.D = No Detectado; SAT = Saturado; S.T = Sales Totales; S.A.I (%) = Porcentaje Saturación Ácido Intercambiable; S.B (%) = Porcentaje Saturación de Bases; PSI = Porcentaje Saturación de Sodio.</p> <p>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) entregadas por el cliente.</p> <p>Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 45-51 Bogotá, Teléfono: 3954016 ó 3954000 Ext. 91548 y 91288, mail: laboratorio@igac.gov.co</p> <p>Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.</p> <p>Certificaciones ENVQ para las normas ISO 9001:2015, NTCGP 1000:2009 e ISO 14001:2015</p>								
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:		JAIME ALVAREZ HERRERA				Firma		
		NOMBRE						
		Página 1 de 2						

IGAC		INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Q-57				FECHA	
		GESTIÓN AGROLÓGICA				AAAA-MM-DD	
						2019-10-24	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		CAMILA CASTRO			TIPO DE MUESTRA	SUELO	
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Subachoque			No. SOLICITUD		
SUPLEMENTO DE RESULTADOS		<input type="checkbox"/> DE FECHA		DIRECCIÓN DEL CLIENTE			
				CALLE 18 BIS NO. 3 - 31			
No. DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	CROMO TOTAL (mg/kg)			
MQ1-36943	SUELO	-	LODO SECO PTAP	87.88			
Observaciones:							
<p>*CwCOD: (+) = BAJO, (++) MEDIO, (+++) ALTO, (++++) Muy Alto, (-) = No presente; N.A = No Aplica; N.E = No específico; 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</p> <p>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.</p> <p>Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 45-51 Bogotá, Teléfono: 3994018 ó 3994000 Ext. 91548 y 91288, mail: laboratorio@igac.gov.co</p> <p>Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.</p> <p>Certificaciones BVQI para las normas ISO 9001:2015, NTCGP 1000:2009 e ISO 14001:2015</p>							
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:				JAIMÉ ALVAREZ HERRERA		Firma	
				NOMBRE			

IGAC		INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Q-57			FECHA	
		GESTIÓN AGROLÓGICA			AAAA-MM-DD	
					2019-10-24	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		CAMILA CASTRO		TIPO DE MUESTRA	SUELO	
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Subachoque		No. SOLICITUD	4018_1	
SUPLEMENTO DE RESULTADOS <input type="checkbox"/>		DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		CALLE 18 BIS NO. 3 - 31	
Condición de la muestra		Explicación:				
APROBADA		N.A				
Fecha de recepción de la muestra		Fecha de pago de la muestra		Fecha de ejecución de los análisis		
2019-10-01		2019-10-04		2019-10-18		
Método		Condiciones específicas o ambientales del método		Incertidumbre estimada (Si aplica)		Límite de detección (Si aplica)
Digestión en frío ácido fluorhídrico; cuantificación absorción atómica.		Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.		N.A		N.A
Método		Condiciones específicas o ambientales del método		Límite de cuantificación (Si aplica)		Límite de detección (Si aplica)
				N.A		N.A
CONVERSIÓN DE UNIDADES(CUANDO SE REQUIERA)						
N.A						
Cualquier inquietud puede comunicarse con:						
Sandra Castro, Ext. 91308						
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:		JAIMÉ ALVAREZ HERRERA		Firma		
		NOMBRE				
		Página 2 de 2				

	INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Q-58			FECHA
	GESTIÓN AGROLÓGICA			AAAA-MM-DD
				2019-10-24
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		CAMILA CASTRO		TIPO DE MUESTRA
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Subachoque		No. SOLICITUD
SUPLEMENTO DE RESULTADOS		<input type="checkbox"/> DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE	
		CALLE 18 BIS NO. 3 - 31		4018_1
No. DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	PLOMO TOTAL (mg/kg)
MQ1-3648	SUELO	-	LODO SECO PTAP	35.89
Observaciones:				
<small> *CÁDIGOS: (+) = BAJO, (++) MEDIO, (+++) = ALTO, (++++) Muy Alto, (-) = No presente; N.A = No Aplica; N.E = No específico; 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. 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° 48-51 Bogotá, Telefax: 3954016 ó 3954000 Ext. 91548 y 91286, mail: laboratorio@igac.gov.co Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio. Certificaciones BVQI para las normas ISO 9001:2015, NTCCP 1000:2009 e ISO 14001:2015 </small>				
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:		_____ JAIMÉ ALVAREZ HERRERA NOMBRE		
		_____ Firma		

IGAC		INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Q-58			FECHA	
		GESTIÓN AGROLÓGICA			AAAA-MM-DD	
					2019-10-24	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		CAMILA CASTRO		TIPO DE MUESTRA	SUELO	
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Subachoque		No. SOLICITUD	4018_1	
SUPLEMENTO DE RESULTADOS <input type="checkbox"/>		DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		CALLE 18 BIS NO. 3 - 31	
Condición de la muestra		Explicación:				
APROBADA		N.A				
Fecha de recepción de la muestra		Fecha de pago de la muestra		Fecha de ejecución de los análisis		
2019-10-01		2019-10-04		2019-10-18		
Método		Condiciones específicas o ambientales del método		Incertidumbre estimada (Si aplica)		Límite de detección (Si aplica)
Digestión en frío ácido fluorhídrico; cuantificación absorción atómica.		Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.		N.A		N.A
Método		Condiciones específicas o ambientales del método		Límite de cuantificación (Si aplica)		Límite de detección (Si aplica)
				N.A		N.A
CONVERSIÓN DE UNIDADES(CUANDO SE REQUIERA)						
N.A						
Cualquier inquietud puede comunicarse con:						
Sandra Castro, Ext. 91308						
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:		JAIMÉ ALVAREZ HERRERA		Firma		
		NOMBRE				
		Página 2 de 2				

IGAC		INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Q-59			FECHA	
		GESTIÓN AGROLÓGICA			AAAA-MM-DD	
					2019-10-24	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		CAMILA CASTRO		TIPO DE MUESTRA	SUELO	
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Subachoque		No. SOLICITUD 4018_1		
SUPLEMENTO DE RESULTADOS <input type="checkbox"/>		DE FECHA		DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 18 BIS NO. 3 - 31		
No. DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	CARGO TOTAL (mg/kg)		
MQ1-3648	SUELO	-	LODO SECO PTAP	1.15		
Observaciones:						
<small> *CÁDIGOS: (+) = BAJO, (++) MEDIO, (+++) = ALTO, (++++) Muy Alto, (-) = No presente; N.A = No Aplica; N.E = No específico; 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. 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° 48-51 Bogotá, Telefax: 3954016 ó 3954000 Ext. 91548 y 91286, mail: laboratorio@igac.gov.co Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio. Certificaciones BVQI para las normas ISO 9001:2015, NTCCP 1000.2009 e ISO 14001:2015 </small>						
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:		JAI ME ALVAREZ HERRERA		Firma		
		NOMBRE				

IGAC		INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO Q-59			FECHA	
		GESTIÓN AGROLÓGICA			AAAA-MM-DD	
					2019-10-24	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		CAMILA CASTRO		TIPO DE MUESTRA	SUELO	
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca - Subachoque		No. SOLICITUD	4018_1	
SUPLEMENTO DE RESULTADOS <input type="checkbox"/>		DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE		CALLE 18 BIS NO. 3 - 31	
Condición de la muestra		Explicación:				
APROBADA		N.A				
Fecha de recepción de la muestra		Fecha de pago de la muestra		Fecha de ejecución de los análisis		
2019-10-01		2019-10-04		2019-10-18		
Método		Condiciones específicas o ambientales del método		Incertidumbre estimada (Si aplica)		Límite de detección (Si aplica)
Digestión en frío ácido fluorhídrico; cuantificación absorción atómica.		Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 85%.		N.A		N.A
CONVERSIÓN DE UNIDADES(CUANDO SE REQUIERA)						
N.A						
Cualquier inquietud puede comunicarse con:						
Sandra Castro. Ext. 91308						
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:		JAI ME ALVAREZ HERRERA		Firma		
		NOMBRE				

RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE COMPOST Y ABONOS Q-62												FECHA											
GESTIÓN AGROLÓGICA												AAAA-MM-DD											
												2019-10-24											
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO						CAMILA CASTRO						TIPO DE MUESTRA		SUELO		No. SOLICITUD		4018_1					
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN						Cundinamarca - Subachoque																	
SUPLEMENTO DE RESULTADOS						<input type="checkbox"/>						DE FECHA						DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 18 BIS NO. 3 - 31					
No. DE LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	PROFUNDIDAD (cm)	pH	RELACIÓN DE pH	CARBONATO DE CALCIO Cultivo*	COMPLEJO DE CAMBIO (mg/kg)					FÓSFORO DISPONIBLE (mg/kg)	ELEMENTOS MENORES DISPONIBLES (mg/kg)				NITRÓGENO TOTAL %							
						Ca	Mg	K	Na	ST		Mn (mg/kg)	Pb	Cu (mg/kg)	Zn								
MQ1-38948	L000 BK00 P10P	11.11	5.930	1:1	N.A.	3.28	0.41	0.4	4.03	24.68	15.41	276.87	3.70	0.91	N.A.								
AZUFRE TOTAL %		CARBONO TOTAL %																					
N.A.		N.A.																					
Observaciones: For concertación y aceptación del cliente no se reporta Azufre Total (S Total), sino Azufre Disponible (ver reporte adicional). No se reporta Carbono Total (C Total) sino Carbono Orgánico (C.O) y no se reporta Carbonato de Calcio, solicitado en lugar de Nitrogeno total (N total) dado que el valor del pH < 7.0																							
<p>N.A. = NO APLICA; N.E. = NO ESPECÍFICA; N.D. = NO DETECTADO</p> <p>*CALCIO: (++) = NO PRESENTE, BAJO; (+++) = MEDIO; (++++) = ALTO; (+++++) = MUY ALTO.</p> <p>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.</p> <p>Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cra 30 N° 46-51 Bogotá, Teléfonos 3694016 a 3694000 Ext. 91548 y 91266, mail: laboratorio@igac.gov.co</p> <p>Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.</p> <p>Certificaciones BVQI para las normas ISO 9001:2015, NTCGP 1000:2009 e ISO 14001:2015</p>																							
APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:						JAIME ALVAREZ HERRERA						Firma											
						NOMBRE																	

INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO				FECHA GUIA		FECHA	
GESTIÓN AGROLÓGICA				AAAA-MM-DD		AAAA-MM-DD	
				2019-10-08		2019-10-08	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		CAMILA CASTRO		No. SOLICITUD		4018_1	
DIRECCIÓN DEL CLIENTE		CALLE 18 BIS NO. 3 - 31					
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		Cundinamarca/Subachoque/SUBACHOQUE					
TIPO DE ANÁLISIS		SUPLENTO DE RESULTADOS		<input type="checkbox"/> DE FECHA		TIPO DE MUESTRA	
						SUELO	
No. DE LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	PROFUNDIDAD (cm)	S DISPONIBLE (mg/Kg)				
1-30948	LODO SECO PTAP	-	62,11				
OBSERVACIONES:							

<small>N.A. = No aplica; N.E. = No específico; N.D. = No detectado</small> <small>NOTA: LOS RESULTADOS ENTREGADOS EN LA BASE DE DATOS Y LOS ENTREGADOS POR FAX O E-MAIL SE CONSIDERAN DENTRO DEL TIEMPO DE LA ENTREGA DE LOS RESULTADOS. LAS MUESTRAS SE CONSERVAN DENTRO DE SU TIEMPO DE VALIDEZ (ANÁLISIS QUÍMICOS, MINERALÓGICOS Y FISICOS), 15 DIAS PARA LOS ANÁLISIS BIOLÓGICOS), a partir de la fecha de entrega. Aguas como así y abonos no se conservan. La información emitida por el laboratorio se limita al análisis de las muestras entregadas con el cliente. Favor consultar su seguridad, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cía 30 N° 4841, Teléfono 3948001 ó 3948000 Ext. 91281 ó 91286, mail: laboratorio@ign.gov.co.</small> <small>Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.</small> <small>APROBADO POR COORDINADOR DEL IIT:</small>							
		JAME ALVAREZ HERRERA					
		Nombre		Firma			

IIT LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS

Pág. 1 de 2

FORMO 02/16/14

INFORME Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO				FECHA QUA		FECHA	
GESTIÓN AGROLÓGICA				AAAA MM DD		AAAA MM DD	
				2019-10-08		2019-10-08	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		CAMILA CASTRO		No. SOLICITUD		4018_1	
DIRECCIÓN DEL CLIENTE		CALLE 18 BIS No 3-31					
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN		CUNDINAMARCA / SUBACHOQUE					
TIPO DE ANÁLISIS		SUPLENTE DE RESULTADOS		<input type="checkbox"/> DE FECHA		TIPO DE MUESTRA	
						SUELO	
No. DE LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	PROFUNDIDAD (cm)	CARBÓN ORGANICO (%)				
1-30948	LODO SECO PTAP	-	9,071				
OBSERVACIONES:							
Se analizo carbon organico en lugar de carbon total, ver concertacion con el cliente.							

N.A. = No aplica; N.E. = No especifica; N.D. = No detectado							
NOTA: LOS RESULTADOS ENTREGADOS EN LA BASE DE DATOS Y LOS ENTREGADOS POR CARTA O E-MAIL SE CONSERVARAN DURANTE TRES AÑOS A PARTIR DE LA ENTREGA DE LOS RESULTOS. LAS MUESTRAS SE CONSERVARAN DURANTE SEIS MESES (ANÁLISIS QUÍMICOS, MINEROLÓGICOS Y FISICOS), 15 DÍAS (ANÁLISIS BIOLÓGICOS), A PARTIR DE LA FECHA DE ENTREGA. AGUAS COMUALES Y ABONOS NO SE CONSERVAN. LA INFORMACIÓN ENTREGADA POR EL LABORATORIO SE ENTRA AL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS ENTREGADAS POR EL CLIENTE. PUEDE CONSULTAR SU SEGURIDAD, OBSERVACIÓN O RECLAMO AL LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS C/ta No 48-41, Telefono 3941001 ó 3941000 Ext. 91281 ó 91285, email: laboratorio@igac.gov.co.							
Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita del Laboratorio.							
APROBADO POR COORDINADOR DEL OT:							
			JAME ALVAREZ HERRERA				
			Nombre			Firma	

 RESULTADOS MICROBIOLOGÍA B97 G-82 RESULTADOS ANÁLISIS BIOLÓGICO DE SUSTRATOS Y AGUAS - MICROBIOLOGÍA GRUPO INTERNO DE TRABAJO LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS										FECHA DE REALIZACIÓN		
										AAAA-MM-DD		
										2018-10-24		
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO			CAMILA CASTRO				No. SOLICITUD		4018_1			
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN			Cundinamarca - Subachoque				No. DE LABORATORIO		MB1-36946			
SUPLEMENTO DE RESULTADOS			DE FECHA		DIRECCIÓN DEL CLIENTE			CALLE 18 BIS NO. 3 - 31		IDENTIFICACIÓN CAMPO		LODO SECO PTAP
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			
MB1-36946	SUELO	LODO SECO PTAP	N.D.	<1.8	NMP/g	-	-	<1.8	NMP/g			
LIMITE INFERIOR COLIFORMES FECALES	LIMITE SUPERIOR COLIFORMES FECALES	ESCHERICHIA COLI	Unidad	LIMITE INFERIOR ESCHERICHIA COLI	LIMITE SUPERIOR ESCHERICHIA COLI	RESPIRACIÓN (mg CO ₂ /g/48h)	Unidad	NEMATODOS EN SUSTRATO PATÓGENOS (N/g muestra)	NEMATODOS EN SUSTRATO VIDA LIBRE (N/g muestra)			
-	-	<1.8	-	-	-	-	(mg CO ₂ /g/48h)	N.D.	21			
NEMATODOS EN LIQUIDO PATÓGENOS (N/muestra)	NEMATODOS EN LIQUIDO VIDA LIBRE (N/muestra)	# HUEVOS HELMINTOS/g	# HUEVOS HELMINTOS/mL									
N.D.	N.D.	-	-									
OBSERVACIONES												
NINGUNA.												

COMPOST (Con base en CCME -Conseil Canadian des ministres de l'environnement, 2005)

	Compost maduro o Sustrato no inhibidor	Compost en proceso de maduración o estabilización o sustrato con Inhibidores	Sustrato con promotores
pH	5,2 a 7,5	5,0 a 8,0 u 8,0 a 9,0	
Temperatura al humedecer	<8°C encima de la temperatura ambiente	>8°C encima de la temperatura ambiente	
Respiración (µmole CO ₂ / g sustrato / h)	<4.16 mg/g/CO ₂ por 48 h	≥ 4.16 mg/g/CO ₂ por 48 h	
Microorganismos fitopatógenos	Ausentes (Fusarium, Botrytis, Rhizoctonia, Phytophthora y otros)	Probable encontrar	
Contenido de coliformes fecales y Escherichia coli	<1000 NMP/g	>1000 NMP/g	
Salmonella spp.	NO DETECTADO	Probablemente detectada	
Nematodos fitopatógenos	ninguno	Probablemente detectados	

INTERPRETACIÓN

Notación científica con número de ceros según cifra después del símbolo "e"; ejemplo: 215 = 20000; UPC: Unidades Formadoras de Colonias; N.A. No Agrega; N.I. No Incluye; N.D. No Detectado; D. Detectado; Confianza del valor NMP: Método Más Probable; 95%. El dato del análisis se expresa en un intervalo: Límite inferior < NMP < Límite superior.

NOTA: Los resultados suministrados en la carta de datos y los anexos por fax o e-mail se conservarán durante diez meses a partir de la entrega de los mismos. Los resultados se conservarán 15 días a partir de la fecha de entrega. Agrees y anexos no se conservan. La información emitida por el Laboratorio Nacional de Suelos, se brinda en análisis de (N) muestra(s) indagadas por el cliente. Favor comunicarse su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos C/ra 30 N° 49-01, Teléfono 2880710 o 2880000 Ext. 4270; mail: analisis@igac.gov.co. Política de reproducción permitida autorizada escrita del Laboratorio. Favor comunicarse su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos C/ra 30 N° 49-01, Teléfono 2880710 o 2880000 Ext. 4270; mail: analisis@igac.gov.co. Política de reproducción permitida autorizada escrita del Laboratorio.

	RESULTADOS MICROBIOLOGÍA B07 G-02		FECHA DE REALIZACIÓN
	RESULTADOS ANÁLISIS BIOLÓGICO DE SUSTRATOS Y AGUAS - MICROBIOLOGÍA		AAAA-MM-DD
	GRUPO INTERNO DE TRABAJO LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS		2018-10-24
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO	CAMILA CASTRO	No. SOLICITUD	4018_1
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN	Cundinamarca - Subachoque	No. DE LABORATORIO	MEI-3646
SUPLENTE DE RESULTADOS	DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN CAMPO
		CALLE 18 BIS NO. 3 - 31	LODO SECO PTAP

Condición de la muestra	Explicación:
APROBADA	Aprobado

Fecha de recepción de la muestra	Fecha de pago de la muestra	Fecha de ejecución de los análisis
2018-10-01	2018-10-04	2018/10/24

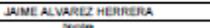
Método	Condiciones específicas o ambientales del método	Incertidumbre estimada (SI aplica)	Límite de detección (SI aplica)	Límite de cuantificación (SI aplica)
NITRÓGENO TOTAL: Kjeldahl y titulación potenciométrica o Combustión en Analizador Elemental.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 95%.	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 95%.	N.A	N.A	N.A
FOSFORO 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 95%.	N.A	N.A	N.A
pH: Potenciométrico en relación suelo/agua 1:1*	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 95%.	N.A	N.A	N.A
AZUFRE TOTAL: Combustión Total en Analizador Elemental.	Temperatura: 10-40 °C y Humedad relativa no superior al 95%.	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 95%.	N.A	N.A	N.A

CONVERSIÓN DE UNIDADES(CUANDO SE REQUIERA)

N.A

Cualquier inquietud puede comunicarse con:

laboratorio@igac.gov.co

APROBADO POR COORDINADOR DEL GT:	 JAIMÉ ALVAREZ HERRERA <small>Nombre</small>	<small>Fecha</small>
----------------------------------	---	----------------------

		RESULTADOS INHIBICIÓN DE GERMINACIÓN Q-82 RESULTADO ANÁLISIS BIOLÓGICO - ENSAYO DE INHIBICIÓN DE GERMINACIÓN GRUPO INTERNO DE TRABAJO LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS		FECHA DE REALIZACIÓN AAAA-MM-DD 2018-10-24	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO CAMILA CASTRO		No. SOLICITUD 4018_1			
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN Cundinamarca - Subachoque		No. DE LABORATORIO MB1-36945			
SUPLEMENTO DE RESULTADOS DE FECHA _____ DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 18 BIS NO. 3 - 31		IDENTIFICACIÓN CAMPO LODO SECO PTAP			
CARACTERÍSTICAS DEL ABONO O COMPOST					
OLOR: NEUTRAL		APARENCIA: GRANULAR			
MATERIAL DE ORIGEN: INDISTINGUIBLE		TEMPERATURA PREVIA: 18.00		pH: 5.44	
TEMPERATURA AL HUMEDECER: 19.00					
DATOS DEL ENSAYO					
SEMILLA: Brassica oleracea (repollo)		No. DE TRATAMIENTOS: 4.00			
% GERMINACIÓN REPORTADA: 85%		No. DE RÉPLICAS: 3.00		SUSTRATO CONTROL: Turba	
RESULTADOS					
% DE GERMINACIÓN A 6 DÍAS					
TRATAMIENTOS (RELACIÓN MUESTRA:SUSTRATO CONTROL)					
Replica	1:0	1:1	1:3	0:1 Control	
1	20.00	120.00	90.00	62.50	
2	25.00	91.67	-	75.00	
3	25.67	93.33	-	93.75	
% MUERTES A LOS 6 DÍAS 0.00		0.00			
BIOMASA DE PLÁNTULAS EMERGIDAS (g) A 6 DÍAS					
TRATAMIENTOS (RELACIÓN MUESTRA:SUSTRATO CONTROL)					
Replica	1:0	1:1	1:3	0:1 Control	
1	0.052	0.332	0.093	0.590	
2	0.039	0.399	-	0.103	
3	0.049	0.295	-	0.206	
% DE PLÁNTULAS ANORMALES 0.00		0.00			
PROMEDIO LONGITUD TALLO (mm) A 6 DÍAS					
TRATAMIENTOS (RELACIÓN MUESTRA:SUSTRATO CONTROL)					
Replica	1:0	1:1	1:3	0:1 Control	
1	3.500	19.500	3.667	9.700	
<small>Notación científica con número de cifras según oficio después del símbolo * ejemplo: 275 + 200000; LFC: Unidades Formadoras de Colonias; N.A. No. Átomo; N.I. No. Índice; N.D. No. Determinado; 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: Las repeticiones almacenadas en la base de datos y los archivos por foto o email se conservarán durante dos (2) meses a partir de la entrega de los reportes. Las muestras se conservarán 15 días a partir de la fecha de entrega. Agnes y alonso no se conservan. La información emitida por el Laboratorio Nacional de Suelos, se basa en análisis de la(s) muestra(s) entregada(s) por el cliente. Favor consultar los egresos, observaciones y reclamos al Laboratorio Nacional de Suelos C.A. 2017-09-07, teléfono 25862218 o 25862200 Ext. 4016, mail: laboratorio@igac.gov.co. Prohibida la reproducción parcial o total sin autorización escrita del Laboratorio.</small>					

		RESULTADOS INHIBICIÓN DE GERMINACIÓN Q-82 RESULTADO ANÁLISIS BIOLÓGICO - ENSAYO DE INHIBICIÓN DE GERMINACIÓN GRUPO INTERNO DE TRABAJO LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS			FECHA DE REALIZACIÓN AAAA-MM-DD 2018-10-24		
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO CAMILA CASTRO					No. SOLICITUD 4018_1		
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN Cundinamarca - Subachoque					No. DE LABORATORIO MBI-3696		
SUPLEMENTO DE RESULTADOS		DE FECHA		DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 18 BIS NO. 3 - 31		IDENTIFICACIÓN CAMPO LODO SECO PTAP	
2	8.667	19.727	-	8.083			
3	3.500	13.429	-	12.857			
PROMEDIO LONGITUD DE RAÍZ (mm) A 6 DÍAS							
TRATAMIENTOS (RELACIÓN MUESTRA:SUSTRATO CONTROL)							
Réplica	1:8	1:1	1:3	0:1 Control			
1	4.500	32.750	3.000	14.800			
2	8.333	42.727	-	11.750			
3	11.000	28.857	-	15.620			
RELACIÓN TALLO / RAÍZ							
Réplica	1:8	1:1	1:3	0:1 Control			
1	0.219	0.627	0.906	0.553			
2	0.233	0.373	-	0.801			
3	0.238	0.561	-	0.875			
OBSERVACIONES NINGUNA.							
INTERPRETACIÓN La evaluación de sustrato por medio de este paquete analítico nos permite determinar su fitotoxicidad potencial hacia las plantas. Es importante puesto que los algunos sustratos contienen sustancias que inhiben el crecimiento de las plantas y pueden resultar nocivos para los cultivos. La viabilidad se refiere al grado en el cual los sustratos poseen elementos más estables, ausencia de organismos nocivos para la salud humana o vegetal. Esto se determina a través de un proceso respirométrico, por bioensayo, adicionalmente se analiza la ausencia de nemátodos, Coliformes totales, fecales, E coli, el pH alcalino, la apariencia y el tipo de olor. De lo anterior y con base en los resultados obtenidos de la muestra analizada podemos concluir que este sustrato presenta inhibidores de germinación, de crecimiento lo que se evidencia en el número de semillas germinadas en el tratamiento uno, igual que la longitud de tallos y raíces al comparar con el tratamiento dos y cuatro. este sustrato debe ser tratado de manera que mejor sus condiciones físicas y químicas, que den estructura y eliminen las sustancias inhibidoras En cuanto a la parte microbiológica, el valor de respiración, pH, la ausencia de coliformes fecales, totales y E coli están dentro del rango establecido para sustrato maduros, igual no se detectaron nemátodos fitopatógenos. el pH está un poco ácido debe modificarse para que llegue a valores mas neutros.							
<small> Notación científica con número de ceros según cifra después del símbolo "e", ejemplo: 21E + 20000; LFC: Unidades Formadoras de Colonias; N.A. No Aptas; N.I. No Inhibe; N.D. No Detectado; D. Detectado; Confianza de venta NMP: Muestra Más Probable; 95%. El dato del análisis se expresa en un litro/ml. Límite inferior < NMP < Límite superior. NOTA: Los resultados expresados en la base de datos y los emitidos por fax o e-mail se concuerdan a partir de dos días hábiles a partir de la entrega de los máximos. Los resultados se concuerdan 15 días a partir de la fecha de entrega. Aguas y alambres no se concuerdan. La información emitida por el Laboratorio Nacional de Suelos, se brinda al análisis de 10 (diez) muestras (10) entregadas por el cliente. Favor comunicarse su sugerencia, observación o reclamo al Laboratorio Nacional de Suelos Cía 30 31* 28-01, Teléfono 33840716 ó 33840330 Ext. 4070, mail: laboratorio@igac.gov.co. Prohibida la reproducción parcial sin autorización escrita de Laboratorio. </small>							

	RESULTADOS INHIBICIÓN DE GERMINACIÓN G-82 RESULTADO ANÁLISIS BIOLÓGICO - ENSAYO DE INHIBICIÓN DE GERMINACIÓN GRUPO INTERNO DE TRABAJO LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS		FECHA DE REALIZACIÓN AAAA-MM-DD 2018-10-24	
	NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO CAMILA CASTRO	No. SOLICITUD 4018_1	DEPARTAMENTO / MUNICIPIO / LOCALIZACIÓN Cundinamarca - Subachoque	No. DE LABORATORIO MEI-3696
	SUPLEMENTO DE RESULTADOS DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 18 BIS NO. 3 - 31	IDENTIFICACIÓN CAMPO LODO SECO PTAP	

Condición de la muestra	Explotación:
APROBADA	Aprobado

Fecha de recepción de la muestra	Fecha de pago de la muestra	Fecha de ejecución de los análisis
2018-10-01	2018-10-04	2018/10/24

Método	Condiciones específicas o ambientales del método	Incertidumbre estimada (SI aplica)	Límite de detección (SI aplica)	Límite de cuantificación (SI aplica)
NITROGENO TOTAL: Kjeldahl y titulación potenciométrica ó Combustión en Aparador Elementar	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
FOSFORO 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 Aparador Elementar	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:

laboratorio@igac.gov.co

APROBADO POR COORDINADOR DEL GIT:	_____ JAIMÉ ALVAREZ HERRERA <small>Nombre</small>	_____ <small>Fecha</small>
-----------------------------------	---	-------------------------------

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI											
SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA - LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS											
CONSIDERACIONES GENERALES PARA INTERPRETAR ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS											
pH (H ₂ O)	APRECIACIÓN	P mg Kg ⁻¹ (BRAY II)	K cmol (+) Kg ⁻¹	C.O (%)			N.Total (%)			CIC cmol (+) Kg ⁻¹	SATURACION DE BASES (SB) %
				CLIMA			CLIMA				
1:1				FRÍO	MEDIO	CÁLIDO	FRÍO	MEDIO	CÁLIDO		
<4.5 EXTREMADAMENTE ÁCIDO	BAJO	<15	<0.2	<2.9	<1.7	<1.2	<0.25	<0.15	<0.10	<10	<35
	MEDIO	15 - 40	0.2 - 0.4	2.9 - 8.1	1.7 - 2.9	1.2 - 2.3	0.26 - 0.50	0.16 - 0.30	0.10 - 0.20	10 - 20	35 - 50
	ALTO	>40	>0.4	>8.1	>2.9	>2.3	>0.50	>0.30	>0.20	>20	>50
4.6 - 5.0 MUY FUERTEMENTE ÁCIDO	RELACIONES										
	APRECIACIÓN	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SALES Y SODIO			PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE (S.A.I)	APRECIACIÓN	
5.1 - 5.5 FUERTEMENTE ÁCIDO	RELACIÓN IDEAL	2 - 4	3	6	10	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA dS m ⁻¹	PORCENTAJE SATURACIÓN SODIO INTERCAMBIABLE (PSI)	CLASE			SIN PROBLEMAS EN GENERAL LIMITANTE PARA CULTIVOS SUSCEPTIBLES
	K DEFICIENTE		>18	>30	>40	0 - 2	INFERIOR	NORMAL			
5.6 - 6.0 MEDIANAMENTE ÁCIDO						2 - 4		A	LIMITE		
	Mg DEFICIENTE	>10	<1			4 - 8	S1		15 A 30		LIMITANTE PARA CULTIVOS MODERADAMENTE TOLERANTES
6.1 - 6.5 LIGERAMENTE ACIDO						8 - 16	15%	S2			
	NEUTRO	ELEMENTOS MENORES* (mg Kg ⁻¹)				>16		SUPERIOR	S3		
6.6 - 7.3 LIGERAMENTE ALCALINO	CONTENIDO OPTIMO	Zn	Cu	Mn	Fe	0 - 4	A		Na	30 A 60	
	SUELO	3 - 6	1.5 - 3	15 - 30	20 - 30	4 - 8		NaS1			
7.9 - 8.4 MEDIANAMENTE ALCALINO						8 - 16	15%	NaS2			
	PLANTA	30 - 100	5 - 25	30 - 200	60 - 500	>16		NaS3	>60		NIVELES TÓXICOS PARA LA MAYORÍA DE CULTIVOS
8.5 - 9.0 FUERTEMENTE ALCALINO	*Extractables con DTPA en suelos; digestión húmeda en tejido vegetal.						ÁREA DE QUÍMICA				
	Boro en suelos (extractable en agua caliente): 0.6 - 1.0 mg Kg ⁻¹ .										
>9.0 EXTREMADAMENTE ALCALINO	Boro en tejido vegetal : 30-80 mg Kg ⁻¹ .										

NC(Nivel Critico): 25 mg Kg⁻¹ NO₃; 20 mg Kg⁻¹ NH₄; 20 mg Kg⁻¹ S disponible (Fosfato de calcio)

CONCENTRACION NORMAL EN TEJIDO VEGETAL (Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, 1998):

N (%): 2,5-4,5; P (%): 0,20-0,75; K (%): 1,5-5,5; Ca (%): 1,0-4,0; Mg (%): 0,25-1,0; S (%): 0,25-1,0

B (mg Kg⁻¹): 10-200; Cu (mg Kg⁻¹): 5-30; Fe (mg Kg⁻¹): 100-500; Mn (mg Kg⁻¹): 20-300; Zn (mg Kg⁻¹): 27-100; Mo (mg Kg⁻¹): 0.10-0.20; Cl (mg Kg⁻¹): 100-500

ANEXO B

CÁLCULOS DE LA PRODUCCIÓN DE LODO

▪ TEÓRICA

- Ecuación 3. Producción de lodo CONAGUA

$$Lp = \frac{Q * SST_{af1} * E}{1000}$$

Q: 1728 m³/d

SST_{INICIAL}= 10 mg/L

SST_{FINAL}= 1 mg/L

EFICIENCIA= 90 %

$$Lp = \frac{1728 * 10 * 0.9}{1000} = 15.55 \frac{kg}{d}$$

- Ecuación 4. Producción de lodo RAMIREZ

$$S = 86.4 * Q (0.44 * AL + SS + A)$$

Q: 0.02 m³/s

SST= 10 mg/L

AL= 12.5 mg/L

A= 0 mg/L

$$S = 86.4 * 0.02 (0.44 * 12.5 + 10 + 0) = 26.78 \frac{kg}{d}$$

- Ecuación 5. Producción de lodo ROZO & SUTA

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

UNT= 10

Q= 1728 m³/d

AL= 12.5 mg/L

$$S = (10 + 0,3 * 12.5) * 1728 * 10^{-3} = 23.76 \frac{kg}{d}$$

▪ ESTEQUIIOMÉTRICA



$$AL * \left(\frac{PM \ 2AL(OH)_3}{PM \ AL_2(SO_4)_3 \cdot 14 \ H_2O} \right) + (SST_{INICIAL} - SST_{FINAL}) * Q * 0.0864$$

$$PM \ Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O = 594.15 \text{ kg/kmol}$$

$$PM \ Al(OH)_3 \downarrow = 78 \text{ kg/kmol}$$

$$SST_{INICIAL} = 10 \text{ NTU}$$

$$SST_{FINAL} = 1 \text{ NTU}$$

$$AL = 22.5 \text{ kg/d}$$

$$Q = 20 \text{ L/s}$$

$$22.5 * \left(\frac{2 * 78}{594.15} \right) + (10 - 1) * 20 * 0.0864 = 21.46 \frac{kg}{d}$$

ANEXO C

CÁLCULO VOLUMEN PARA LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE EN AGUA RESIDUAL

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

$$V_1 = \frac{V_2 * C_2}{C_1}$$

V1: Volumen en mililitros de la solución de sulfato que se va a aplicar en la jarra

C1: Concentración en ppm de la solución de sulfato

V2: Volumen en mililitro de la jarra

C2: Concentración en ppm del sulfato a dosificar en la jarra

- Jarra 1 (30 ppm)

$$V_1 = \frac{V_2 * C_2}{C_1} = \frac{1000 * 30}{50000} = 0.5 \text{ mL}$$

- Jarra 2 (45 ppm)

$$V_1 = \frac{V_2 * C_2}{C_1} = \frac{1000 * 45}{50000} = 0.7 \text{ mL}$$

- Jarra 3 (60 ppm)

$$V_1 = \frac{V_2 * C_2}{C_1} = \frac{1000 * 60}{50000} = 1 \text{ mL}$$

- Jarra 4 (75 ppm)

$$V_1 = \frac{V_2 * C_2}{C_1} = \frac{1000 * 75}{50000} = 1.2 \text{ mL}$$

- Jarra 5 (90 ppm)

$$V_1 = \frac{V_2 * C_2}{C_1} = \frac{1000 * 90}{50000} = 1.4 \text{ mL}$$

- Jarra 6 (105 ppm)

$$V_1 = \frac{V_2 * C_2}{C_1} = \frac{1000 * 105}{50000} = 1.7 \text{ mL}$$

- Jarra 7 (120 ppm)

$$V_1 = \frac{V_2 * C_2}{C_1} = \frac{1000 * 120}{50000} = 1.9 \text{ mL}$$

ANEXO D

RESULTADOS PRUEBAS DE DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE EN AGUA RESIDUAL

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6	Jarra 7
pH inicial	9.117	9.117	9.117	9.117	9.117	9.117	9.117
Turbidez NTU inicial	106	106	106	106	106	106	106
pH final	8.40	8.33	8.31	8.27	8.16	8.02	8.06
Turbidez NTU final	101	97	95	79	58	56	55

ANEXO E

PARÁMETROS RECUPERACIÓN SULFATO DE ALUMINIO

	PATRON			JARRA 1 (25% lodo/ 75% coagulante)			JARRA 2 (50% lodo/ 50% coagulante)			JARRA 3 (75% lodo/ 25% coagulante)			JARRA 4 (100% lodo/ 0% coagulante)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH inicial	8.48	8.46	8.48	8.54	8.54	8.54	8.53	8.54	8.54	8.5	8.54	8.54	8.48	8.54	8.54
T°C inicial	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7
DQO inicial	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966	1966
Turbidez inicial	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
NTU t=0	181	159	175	221	172	172	249	201	194	266	218	236	274	261	240
NTU t=5	75	68	94	91	103	132	116	118	122	109	126	151	112	158	182
NTU t=10	64	66	89	89	100	102	95	107	110	99	118	141	106	144	164
NTU t=20	64	60	76	79	92	94	87	99	99	90	111	124	98	132	151
NTU t=30	60	53	70	78	86	94	81	95	98	86	106	115	93	123	140
NTU t=60	55	46	67	75	86	87	81	94	92	84	103	113	92	121	132
pH final	8.06	8.05	8.09	8.44	8.59	8.56	8.45	8.49	8.52	8.46	8.57	8.56	8.54	8.65	8.63
DQO final	959	956	963	1344	1498	1616	1493	1780	1792	1482	2042	2253	1683	2247	2605