

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(1)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	JESUS ORLANDO CABELLO PÉREZ KAREN DAYANA RODRÍGUEZ SARABIA		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA AMBIENTAL		
DIRECTOR	MSC. LUIS CARLOS FONSECA		
TÍTULO DE LA TESIS	APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER COMO ALTERNATIVA PARA SU MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>LA INADECUADA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS LODOS GENERADOS EN UNA PTAP PRESENTA POSIBLES IMPACTOS SOBRE LA FUENTE HÍDRICA DETERIORANDO EL ECOSISTEMA ACUÁTICO Y DISMINUYENDO LA EFECTIVIDAD DE LA PTAP. ES POSIBLE UNA ALTERNATIVA FINANCIERAMENTE VIABLE Y UN DISEÑO DE LECHO DE SECADO QUE PERMITA MITIGAR LOS IMPACTOS. EN ESTE TRABAJO SE TIENEN EN CUENTA TRES ALTERNATIVAS PARA EL POSIBLE USO DE LOS LODOS COMO ENMIENDA AGRÍCOLA, COMO MATERIAL ALTERNATIVO EN LA FABRICACIÓN DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURALES Y EN LA ELABORACIÓN DE CEMENTO.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 136	PLANOS: 1	ILUSTRACIONES: 49	CD-ROM: 1



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
 info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN EL PROCESO DE
POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE
SANTANDER COMO ALTERNATIVA PARA SU MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL

Autores:

JESUS ORLANDO CABELLO PEREZ
KAREN DAYANA RODRIGUEZ SARABIA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Ambiental

Director:

MSc. LUIS CARLOS FONSECA

Asesores

MSc. DIANA MILENA VALDES SOLANO
Esp. ANGIE ALEJANDRA MUÑOS QUINTERO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
INGENIERIA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

agosto de 2019

Agradecimiento

Primeramente, a Dios por darnos la fuerza de seguir y no decaer en momentos difíciles. A nuestros padres y familiares por ser un apoyo incondicional en todo nuestro proceso académico.

A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por el espacio generado para nuestra formación académica e investigativa ofreciendo de esta forma la oportunidad de convertirnos en profesionales idóneos para nuestra región y el país. Al grupo de investigación GI@DS y al semillero SIASB, así como también a aquellos docentes que trascendieron de su rol como una persona que enseña a una que forma vidas.

A nuestro director el MSc. Luis Carlos Fonseca y la MSc. Diana Milena Valdez Solano por sus regaños, confianza, dedicación, tiempo, compromiso, paciencia, conocimiento y apoyo en las diferentes fases de la investigación.

A la Esp. Angie Alejandra Muñoz Quintero y a el Ing. Stiven Sepulveda por su tiempo, apoyo, conocimiento y ayuda brindada. A nuestros compañeros, en especial Carlos Narvaez Cueto, José Silva por su colaboración y voz de aliento para continuar en este proceso.

A la Empresa Pública de Medellín por la asesoría y bibliografía brindada, no sola mente son grandes profesionales sino que se preocuparon por nuestra formación brindando su experiencia e innovación.

A nuestros jurados la Esp. Yenny Lozano y MSc. Luisa Arevalo por dedicarnos su tiempo, paciencia y todas las observaciones profesionales, cuyo aporte fue esencial para la construcción de este exitoso proyecto.

A la Empresa de Servicios Públicos de Ocaña S.A. por permitirnos sus instalaciones para investigación y su confianza.

Hay un camino que todos escogemos pero hay personas que Dios pone para que nos muestren y acompañen en ese camino, a todas las ellas que hicieron posible la realización de este proyecto y a las que nos apoyaron durante nuestra carrera universitaria.

Dedicatoria

Dedico esta investigación en primer lugar a Dios por llenarme de fuerzas, paciencia y sabiduría en el desarrollo de este proyecto. A mis padres Jimmy Rodríguez y Nubia Sarabia, por su apoyo, oraciones y palabras de aliento; quienes con su amor y esfuerzo me permitieron cumplir el sueño de ser una ingeniera ambiental.

A mi hermana Valeria Rodríguez por su apoyo incondicional y ser el motivo de seguir adelante.

Del mismo modo, a cada uno de mis familiares, en especial a mi Tío Wilmar Rodríguez Quintero, por siempre guiarme, aconsejarme y apoyarme en este proceso de mi vida.

Esto es por cada uno de ustedes, los amo.

Karen Dayana Rodriguez Sarabia

Quiero dedicar este trabajo al que dedicó su vida a amarme, sin duda alguna esta temporada no fue fácil y no pensé poder terminarla pero tú siempre estuviste presente, aunque lo dude nunca dejaste de guiarme. Me diste vista cuando ciego estaba y vida cuando mi ego me mantenía sin ella, podría dedicarte la eternidad pero sé que no sería suficiente para agradecer lo que por mi has hecho. Digno es tu nombre de ser exaltado rey de reyes, te dedico mi vida entera y honrado estoy de tener el mejor título que un hombre puede tener, hoy y por siempre, más que un ingeniero puedo decir que soy tu hijo.

Hoy recibo una calificación meritoria y un título profesional pero esto es el esfuerzo de mi familia que permitió que pudiera tener esta experiencia universitaria, que se sacrificaron para yo pudiera trascender y obtener estos méritos. Ningún hombre puede ser una isla y ningún hombre nace solo, gracias familia por siempre estar y permitirme ser un profesional. A mi Dios, infinito en gracia y poder y a mi familia de sangre y espíritu les dedico este ciclo, que hoy culminamos.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jesus Cabell". The signature is fluid and cursive, with a long, sweeping underline that extends to the left.

Índice

Capítulo 1. Aprovechamiento de los lodos generados en el proceso de potabilización del agua en el municipio de Ocaña, Norte de Santander como alternativa para su manejo y disposición final.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Formulación del problema	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 General.	4
1.3.2 Específicos.....	4
1.4 Justificación.....	5
1.5 Delimitaciones	7
1.5.1 Delimitación geográfica.	7
1.5.2 Delimitación temporal.....	7
1.5.3 Delimitación conceptual.....	7
1.5.4 Delimitación operativa.	8
Capítulo 2. Marco referencial.....	9
2.1 Marco histórico.....	9
2.2 Marco contextual	10
2.3 Marco teórico	12
2.3.1 Etapas operativas generadoras de lodos en una PTAP.	12
2.3.2 Problemas de un manejo inadecuado de los lodos del tanque de sedimentación.	13
2.3.3 Características del lodo.	13
2.3.4 Alternativas de manejo de lodo.....	14
2.4 Marco conceptual.....	14
2.4.1 Conceptos relacionados con una PTAP.....	15
2.4.2 Características fisicoquímicas.....	16
2.4.3 Características microbiológicas.	18
2.5 Marco Legal	18
Capítulo 3. Diseño metodológico	22
3.1 Tipo de investigación.....	22
3.2 Metodología.....	22
3.2.1 Primera etapa.	23
3.2.2 Segunda etapa.	30
3.2.3 Tercera etapa.....	44

3.3 Población.....	47
3.4 Muestra.....	48
3.5 Recolección de información y muestras.	48
3.6 Análisis de información	50
Capítulo 4. Resultados	51
4.1 Análisis de la caracterización del lodo.....	51
4.1.1 Propiedades fisicoquímicas.	52
4.1.2 Propiedad mecánica de la muestra de suelo.....	54
4.2 Identificación de alternativas.....	61
4.2.1 Acondicionador de suelo.	62
4.2.2 Elaboración del ladrillo artesanal.....	68
4.2.3 Aplicación teórica del lodo en cemento.	83
4.3 Diseño del sistema de recolección, tratamiento y disposición final	84
4.3.1 Ecomapa.	84
4.3.2 Cálculo de volumen de lodo.	85
4.3.3 Prototipo de lecho de secado.	86
Capítulo 5. Conclusiones.....	90
Capítulo 6. Recomendaciones	92
Referencias.....	93
Apéndices.....	103
Apéndice A. Análisis fisicoquímico.....	104
Apéndice B. Análisis microbiológico.	108
Apéndice C. Análisis mecánico.	109
Apéndice D. Clasificación fisicomecánicos.	113
Apéndice E. Planos de los procesos de la planta.	115
Apéndice F. Plano de lecho de secado.....	119
Apéndice G. Recursos del proyecto.	120
Apéndice H. Trabajo en campo.	122
Apéndice I. Socialización del proyecto.	125

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa de servicios públicos ESPO S.A. Ocaña.	11
Figura 2. Delineados en rojo se enumeraron de izquierda a derecha como uno, dos, tres y cuatro.	24
Figura 3. Tipos de tamices utilizados en el ensayo, ejemplo de tamiz No.40 y ensayo de Hidrómetro en la muestra de estudio.	27
Figura 4. Ensayo determinación de la gravedad específica fracción fina.	29
Figura 5. Delimitación y adecuación del terreno por medio de una labranza mínima.	31
Figura 6. Preparación de bovinaza a utilizar en el terreno e. Implementación del lodo en la parcela 100% lodo.	33
Figura 7. Mezcla de los diferentes componentes usados en la elaboración del ladrillo.	35
Figura 8. Marco para el moldeado y secado al sol del ladrillo.	36
Figura 9. Esquema de montaje colocación del espécimen. Fuente: NTC-4017 (Segunda Actualización).	37
Figura 10. Montaje de espécimen en maquina universal.	38
Figura 11. Dimensionamiento de especímenes mediante un calibrador.	39
Figura 12. Refrentado de los especímenes.	40
Figura 13. Colocación del espécimen para ensayo de compresión.	41
Figura 14. Diseño de etiqueta para muestra de agua.	50
Figura 15. Grafica de curva de granulometría normalizada.	55
Figura 16. Ensayo de Limites de Plasticidad.	57
Figura 17. Grafica contenido de humedad Vs número de golpes.	58
Figura 18. Determinación Limite Plástico.	59
Figura 19. Afectación foliar del rábano por las plagas previamente mencionadas.	68
Figura 20. Triangulo de textura del suelo para los diferentes suelos utilizados en la elaboración de ladrillo artesanal.	69
Figura 21. Grafica de relación esfuerzo real flexión vs. espécimen.	72
Figura 22. Especimen después de la aplicación de la carga a compresión.	73
Figura 23. Grafica de relación resistencia a la compresión vs espécimen.	74
Figura 24. Grafica porcentaje de absorción vs espécimen.	76
Figura 25. Grafica ensayos realizados a los especímenes.	78
Figura 26. Grafica aumento y disminución de resistencia a la compresión referencia ladrillos comerciales.	79
Figura 27. Ecomapa del proceso de potabilización del agua y sus puntos de evaluación.	85
Figura 28. Tanque de sedimentación.	87
Figura 29. Perfil longitudinal y trasversal del lecho de secado.	88

Lista de tablas

Tabla 1. Ensayos físicos realizados a la muestra de lodo, laboratorio INVIAS	26
Tabla 2. Síntomas de carencia en las plantas.....	31
Tabla 3. Conformación de especímenes sembrados en las diferentes mezclas	32
Tabla 4. Realizados a la muestra de lodo	36
Tabla 5. Relación Mezclas Especímenes fabricados	38
Tabla 6. Materiales para la caracterización de la muestra.....	49
Tabla 7. Muestreo en los diferentes tiempos climáticos	51
Tabla 8. Análisis fisicoquímico tiempo de verano e invierno	53
Tabla 9. Relación humedad	54
Tabla 10. Determinación limite plástico de la muestra.....	59
Tabla 11. Determinación de la gravedad especifica de las partículas sólidas de los suelos	60
Tabla 12. Análisis fisicoquímico para alternativa de lodos.....	63
Tabla 13. Crecimiento de los cultivos en las diferentes mezclas.....	65
Tabla 14. Comparación de la composición química del lodo y de acondicionadores certificados por el ICA	66
Tabla 15. Taxonomía del gusano soldado y hormiga (plagas) encontrado en el bioensayo	67
Tabla 16. Dosificaciones mezclas propuestas con material alternativo	71
Tabla 17. Relación ensayo de absorción	75
Tabla 18. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural.....	77
Tabla 19. Relación costos para la producción de ladrillo macizo	81
Tabla 20. Relación costos para la producción de ladrillos macizos con material alternativo	82

Lista de abreviaturas

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales

BAS: Bogotana de Aguas y Saneamiento

CIC: Capacidad de intercambio catiónico

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

E. Coli: *Escherichia coli*

EPA: Agencia de Protección Ambiental

ESPO: Empresa de servicios Públicos de Ocaña

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

I.N.V: Instituto Nacional de Vías

ICA: Instituto Colombiano Agropecuario

ISO: Organización Internacional de Normalización

JAPAC: Junta municipal de Agua Potable y Almacenamiento de Culiacan

NTC: Norma Técnica Colombiana

PDA: Agar de papa y dextrosa

PET: Tereftalato de polietileno

pH: Potencial de Hidrógeno

PTAP: Planta de tratamiento de agua potable

RAS: Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico

S.U.C.S.: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

SCCS: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo

SS: Sólidos suspendidos

ST: Sólidos totales

SV: sólidos volátiles

UFPSO: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Introducción

Una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) convencional implica los procesos de pretratamiento, coagulación (mezcla rápida), floculación (mezcla lenta), sedimentación, filtración, desinfección, estabilización y tanque de almacenamiento (RAS, 2000).

Actualmente existen problemas ambientales derivados del inadecuado manejo, tratamiento y/o disposición final de los vertimientos que son generados por las diferentes actividades antrópicas, en este caso por la actividad de la potabilización del agua, el cual en esta se genera un residuo denominado lodo que por lo general es vertido de nuevo a la fuente hídrica de donde es captada el agua.

El presente proyecto tiene como objetivo dar un posible aprovechamiento a los lodos generados en una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) en el municipio de Ocaña, Norte de Santander como alternativa para su manejo y disposición final, mediante un diseño para que estos sean tratados y posteriormente incorporados en la fabricación de ladrillos cerámicos, acondicionador de suelo y demás alternativas, estudiando las posibles combinaciones o dosis de lodos.

Para el desarrollo de la investigación se emplearon metodologías realizadas por diferentes autores, basándonos en normatividad para la caracterización del lodo y se utilizaron como principales herramientas de software Autodesk Revit y AutoCAD, que permitieron el diseño de tratamiento de lodos como es el lecho de secado

Dentro de las delimitaciones del proyecto se encontró la falta de información para abarcar de forma clara el tema de lodos potables; el tiempo y la falta de recursos presento una limitación considerable para seguir a profundidad.

Capítulo 1. Aprovechamiento de los lodos generados en el proceso de potabilización del agua en el municipio de Ocaña, Norte de Santander como alternativa para su manejo y disposición final

1.1 Planteamiento del problema

El enfoque en la formación de asentamientos y la sociedad actual gira en torno al agua, siendo fundamental para el desarrollo de los seres vivos y ecosistemas. El desarrollo de tecnologías y actividades antrópicas inadecuadas han tenido un efecto sobre el recurso. Para poder obtener un recurso limpio y descontaminado es necesario someter el recurso a un proceso de potabilización.

Una PTAP puede producir cerca de 100,000 t / año de lodos, su falta de manejo lleva a que algunas PTAP viertan estos residuos directamente a fuentes hídricas (Ahmad, Ahmad, & Alam, 2016). Es importante resaltar que los vertimientos de residuos de una PTAP directamente en las fuentes hídricas llegan a plantear problemas significativos, ya que estos residuos son compuestos orgánicos e inorgánicos y genera depósitos de lodos en los tramos lentos del cauce, incrementando la turbiedad y el color de las aguas receptoras, ocasionando de esta forma problemas medioambientales, por lo tanto, hay que considerar como extraer los residuos sólidos antes de su vertimiento (Quirós, 2008).

En Brasil este tipo de práctica persiste, aunque la legislación vigente de ese país prohíbe la descarga de lodos de una PTAP en fuentes hídricas y muchos proveedores de agua en Brasil han firmado acuerdos con el gobierno que les da un plazo de hasta 30 años antes de que cumplan a

cabalidad la legislación vigente, pese a que parece una posible solución estas continúan descargando lodo y afectando el medioambiente en los años venideros (Gastaldini, et al., 2015).

En Colombia se manifiesta una problemática similar, según el director de la corporación autónoma de Cundinamarca, hay una falencia en ciertas infraestructuras de tratamientos de aguas, ya que se le dio prioridad a una problemática que fue el agua no potable, pero quedaron atrás ciertos aspectos de su tratamiento (Loaiza, 2018).

Muchas plantas de tratamiento de agua potable no tuvieron en cuenta un diseño de tratamiento para los residuos o lodos que se generan en el proceso de potabilización del agua cruda, por lo que este es un tema relativamente nuevo en el campo de la investigación ambiental, pero la legislación colombiana ha ido cambiando y se ha hecho más estricta a través de los años hasta al punto de establecer el pago de tasas retributivas por vertimiento y/o fijar plazos para implementar un proceso de tratamiento de los lodos generados en las PTAP's (Vacca, 2017).

En algunos municipios como Risaralda practican el vertimiento directo de los lodos a la fuente hídrica, sin ningún tipo de tratamiento previo (Raigosa, 2012). Realizar una disposición final vertiendo directamente a las fuentes hídricas o en rellenos sanitarios no es una solución adecuada ya que esto presentaría la contaminación de los cuerpos de agua y el suelo debido a los productos químicos utilizados como coagulantes en el tratamiento del agua, como el aluminio o las sales de hierro (Ahmad, Ahmad, & Alam, 2016).

La empresa Aguas de Cartagena S.A. E.S.P., al igual que muchas PTAP's de Colombia, realizan la disposición final de sus residuos en rellenos sanitarios, esto genera a las plantas altos costos para la disposición adecuada de estos residuos, que de no ser así tendrían otros fines, como su vertimiento en fuentes hídricas, ocasionando fuertes impactos negativos a nivel ambiental (Nuñez & Peña, 2011).

En el proceso de potabilización del agua en el municipio de Ocaña, Norte de Santander se implementa un tipo de tratamiento convencional, donde se utilizan coagulantes químicos como el sulfato de aluminio tipo B, obteniendo un residuo denominado ‘lodos’ en las etapas de coagulación, floculación, sedimentación y filtración; donde se deben tratar como residuos especiales debido a que las sustancias presentes en el agua cruda tales como partículas en suspensión, arenas, arcillas, coloides, materia orgánica y microorganismos, son retenidos en los lodos (Gutierrez, Ramirez, Rivas, Linares, & Paredes, 2014).

Uno de los problemas más notables en el tratamiento de agua es la generación de lodos, cuya disposición final generalmente se hace en cuerpos de agua afectando la calidad de la misma. Estos vertimientos generan turbiedad y color por ende este afecta la vida acuática presente en el río aguas abajo. Pese a lo anterior, actualmente en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, Colombia, no se realiza un tratamiento y/o disposición final adecuada de lodos, en vista de que se hace una descarga directa del lodo a la fuente hídrica Algodonal sin un previo tratamiento que asegure el mínimo impacto al ecosistema acuático. Este es un tema importante al que poca atención se le presta, debido a que el río Algodonal es una de las principales fuentes de agua para el municipio de Ocaña, ya que de ésta se abastece la PTAP de la empresa de servicios públicos de Ocaña la cual suministra el mayor porcentaje de agua potable a la población ocañera. Una problemática es la falta de datos vitales para un diseño adecuado o tratamiento necesario, que es el desconocimiento del volumen total de los lodos que son generados en el proceso de potabilización.

1.2 Formulación del problema

¿Qué alternativa se puede implementar para el aprovechamiento de los lodos generados en el proceso de potabilización del agua en el municipio de Ocaña, Norte de Santander en busca de una mejor disposición final?

1.3 Objetivos

1.3.1 General.

Evaluar el potencial de los lodos generados en el proceso de potabilización del agua en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, en diferentes alternativas de aprovechamiento como estrategia para su manejo y disposición final.

1.3.2 Específicos.

- Analizar las características mecánicas, fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos generados en una planta de tratamiento de agua potable en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.
- Identificar el potencial de aprovechamiento en diferentes alternativas según las características y propiedades de los lodos.

- Proponer un sistema de recolección, tratamiento y disposición final de los lodos generados en el proceso de potabilización.

1.4 Justificación

El agua ha sido considerada un aspecto fundamental para la subsistencia de todo ser vivo, sin embargo, es necesario generar procesos de potabilización del agua para garantizar un aprovechamiento y consumo seguro de la misma, producto de los contaminantes implementados en el desarrollo de la actividad antrópica. Este proceso, como todos, genera residuos (lodos) los cuales provienen de las partículas en suspensión en el agua y químicos implementados para su tratamiento (Raigosa, 2012).

Entre las diferentes alternativas para el tratamiento de lodos, se encuentra su implementación en diversos usos, tales como la fabricación de cemento, ladrillos, materiales cerámicos y para uso agrícola, usándose como agregado. Esto puede traer beneficios que contribuyen con la mitigación del impacto; disminuyendo los riesgos en la fuente hídrica causados por el vertimiento directo, menos gastos de energía, transporte, fabricación y reducción en la utilización de recursos naturales, la reducción de la vegetación afectada en el proceso extractivo de la arcilla (principal componente del ladrillo), aumentando la vida útil de las canteras y llegando a reducir los costos de recomposición de áreas con vegetación nativa (Torres, Hernández, & Paredes, 2012).

Los autores previamente mencionados añaden que los estudios de aprovechamiento de los lodos en la fabricación de ladrillos cerámicos muestran la necesidad de evaluar el contenido de

humedad, tamaño de partícula, plasticidad, lo cual determina el comportamiento de variables críticas como la resistencia a la compresión.

En la planta de tratamiento ESPO S.A. no se realiza una adecuada disposición final de lodos, como es común en la gran mayoría del territorio nacional, por tal motivo se buscará implementar una alternativa para el adecuado manejo y disposición final de lodos, el cual estarán orientadas a evitar descargas directas a la cuenca del río Algodonal, contribuyendo en la recuperación o disminución del impacto que se puede generar al afluente. Es necesario resaltar que un adecuado manejo o tratamiento de este tipo de residuos no sólo conlleva un beneficio ambiental, sino también a un beneficio administrativo y económico dando prestigio y confianza a los asociados y clientes de la empresa ESPO S.A., contribuyendo a una economía sostenible con el aprovechamiento del recurso natural, su cuidado y preservación.

La ejecución de este proyecto otorga un conocimiento teórico, ya que permitirá identificar estrategias viables para innovar en la gestión ambiental, generando solución a problemas que afectan el desarrollo sostenible, teniendo en cuenta los estudios científicos sobre el efecto que estos vertimientos tienen sobre nuestro entorno.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación geográfica.

El proyecto se desarrolló en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Ocaña, Norte de Santander, ESPO S.A “E.S.P”, sede algodonal, en la siguiente ubicación: 8° 13’ 8.03” N y 73° 19’ 15.39” O.

1.5.2 Delimitación temporal.

Este proyecto se desarrolló en los meses correspondientes al segundo semestre del 2018 e inicios del 2019, con un tiempo total de ocho (8) meses.

1.5.3 Delimitación conceptual.

El proyecto tuvo en cuenta los siguientes términos que delimitan y guían:

- Lodos
- Características fisicoquímicas
- Características microbiológicas
- Planta de tratamiento de agua potable (PTAP)
- Contaminación de agua

- Tanque de sedimentación
- Agregado

1.5.4 Delimitación operativa. Para la realización de este proyecto se contó con personal idóneo además de recursos tecnológicos y equipos de laboratorio proporcionados por parte de la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña. El desarrollo del proyecto fue ejecutado por parte de los estudiantes a cargo teniendo en cuenta la asesoría del director del trabajo de grado y de profesionales que se requieran.

Entre las limitaciones que se presentaron para llevar a cabo el proyecto de investigación, se encontró la falta de información a nivel nacional y local sobre el tema a tratar, falta de recursos económicos para enviar las muestras a laboratorios certificados, inconvenientes en la realización de visitas en la empresa de servicios públicos y conflictos de horario para concertar la utilización de equipos de laboratorios proporcionados por la Universidad.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

En Latinoamérica se han realizado estudios sobre los posibles problemas o impactos adversos de estos residuos al medio ambiente. Además, en países donde la normatividad para la protección del medio ambiente es cada vez más estricta, como es el caso de la ciudad de México, existen documentos como la “Guía para el manejo, estabilización y disposición de lodos químicos”, que tiene como fin orientar a los responsables de la operación y el diseño de las plantas potabilizadoras, a cerca de los aspectos relacionados con el manejo de lodos químicos. Por otro lado, en Brasil existen empresas de saneamiento básico que han realizado diferentes estudios acerca del posible impacto ambiental de los lodos planteando posibles soluciones para determinar la forma más adecuada de tratamiento, obteniendo resultados satisfactorios (Ramirez, 2003).

A nivel nacional, la información publicada en torno a experiencias de reutilización y tratamiento de los lodos provenientes de las PTAP's es escasa. En distintas plantas de tratamiento de tipo convencional de diferentes ciudades del país, se realiza el tratamiento de lodos donde prima el tratamiento físico por medio de la deshidratación. El municipio de Caldas (Antioquia) cuenta con una planta piloto para el tratamiento de estos, espesando el lodo por medio de polímeros hasta su secado para su posterior disposición. Asimismo, han sido pocas las publicaciones para la reutilización y tratamiento de lodos provenientes de una PTAP (Gutiérrez J. , Ramírez, Rodrigo, & Paredes, 2014).

En Colombia actualmente existe una amplia normatividad a cerca de la prevención al medio ambiente. Normas como el RAS 2000 establecen los requisitos mínimos para el tratamiento y manejo de los lodos producidos en los procesos de floculación, sedimentación, y filtración producto de la operación de las plantas de tratamiento, aplicables a los cuatro niveles de complejidad del sistema. Al hacerse una descarga de estos lodos se deben seguir uno requisitos previstos en el mismo, debido a la reglamentación ambiental exigente se establece la necesidad de realizar un pago de impuestos, por parte de empresas que realicen una utilización directa del agua como receptor de vertimientos puntuales (RAS titulo C, 2017).

2.2 Marco contextual

El presente proyecto se realiza en el municipio de Ocaña, del departamento Norte de Santander, situada en 8° 13' 8.03" Norte y 73° 19' 15.39" Oeste. El área que abarca el municipio es de 460Km², los cuales representan el 2.2% del departamento (Alcaldia de Ocaña- Norte de Santander, 2014). Se llevó a cabo en la planta de tratamiento de agua potable de la empresa de servicios públicos de Ocaña ESPO S.A "E.S.P" sede algodonal.

La empresa de Servicios Públicos es una sociedad anónima, que presta los servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo en la ciudad de Ocaña, suministrando de una manera oportuna y garantizando la continuidad y calidad de sus productos y servicios a los usuarios (ESPO S.A., 2018).

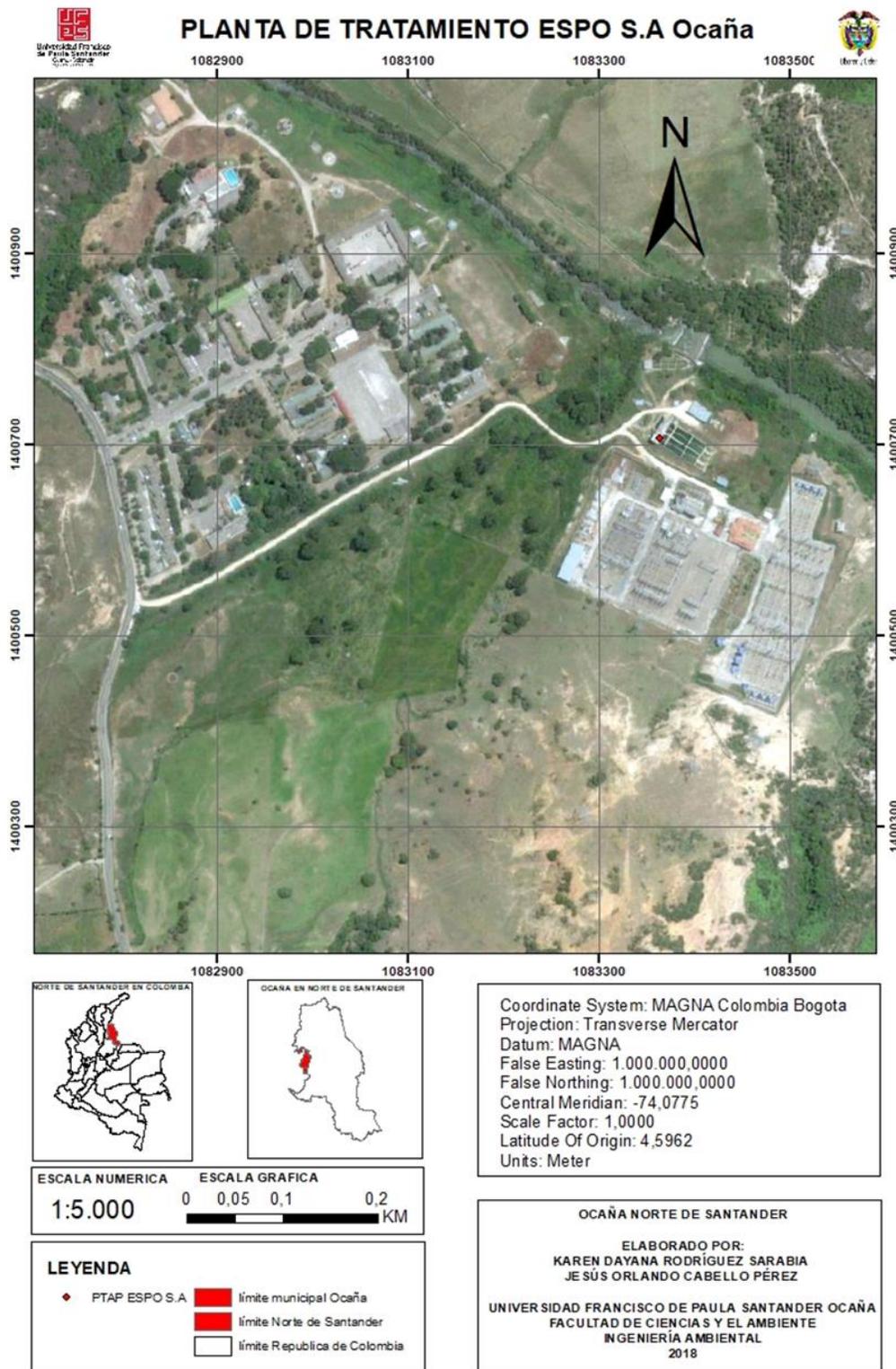


Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa de servicios públicos ESPO S.A. Ocaña.

2.3 Marco teórico

2.3.1 Etapas operativas generadoras de lodos en una PTAP. Un aspecto en la operación de las plantas de potabilización es el manejo de los lodos producidos en los en los diferentes procesos, tales como la floculación, sedimentación y filtración. Los lodos se generan por la coagulación con sulfato de aluminio o compuestos férricos para remoción de color y turbiedad, ambos procesos generan lodos con diferentes características fisicoquímicas y fisicomecánicas (Rodríguez, 2013).

Los lodos que se producen en los sedimentadores constituyen entre un 60% y 70% de los sólidos totales y en los filtros se alberga entre el 30% y el 40%. Sin embargo, en las plantas que remueven hierro y manganeso los filtros retienen la mayoría de los lodos: 50% a 90%; los polielectrolitos tienden a reducir el volumen de esos lodos (RAS título C, 2017).

2.3.2 Problemas de un manejo inadecuado de los lodos del tanque de sedimentación.

Las descargas de residuos en una PTAP generalmente contienen algunos sólidos que se disuelven o se mezclan con grandes cantidades de agua (Pizzi, 2010) generando problemas al ser vertidos directamente a la fuente sin un tratamiento. Los sólidos suspendidos vertidos por una PTAP pueden asentarse y formar depósitos en el fondo del agua receptora, dada las condiciones la descomposición microbiana que utiliza oxígeno para su metabolismo genera un medio anaeróbico. Los sólidos suspendidos presentan aumento en la turbidez de las aguas receptoras y reducen la penetración de la luz para la actividad fotosintética, lo que limita el crecimiento de la vegetación acuática que sirve como hábitat crítico para peces, mariscos y otros organismos acuáticos. Los sólidos suspendidos también proporcionan un medio para el transporte de otros contaminantes absorbidos, incluidos nutrientes, agentes patógenos, metales y compuestos orgánicos tóxicos. Los sólidos suspendidos, sedimentados y otros contaminantes asociados a menudo tienen una interacción prolongada con la columna de agua a través de ciclos de deposición, resuspensión y redeposición (EPA, 2011).

2.3.3 Características del lodo. Las características del lodo proveniente de una planta de tratamiento de agua potable dependen del origen del agua cruda, tiempo atmosférico y de los procesos usados, donde se generan diferentes tipos y volúmenes de lodo. Las características del lodo pueden cambiar anual, estacional o diariamente, conteniendo óxidos e hidróxidos metálicos y contaminantes orgánicos e inorgánicos como microorganismos, limos, arcilla y arena (Sandoval L. , et al., 1998).

2.3.4 Alternativas de manejo de lodo. Conociendo la problemática que presentan los lodos para el ambiente, en Inglaterra se han desarrollado ensayos para determinar el potencial de los lodos para ser implementado como agregado en la industria de ladrillera llevando sus hallazgos a nivel de aplicación industrial y probando el producto final contra los límites máximos permitidos en Inglaterra (Ponkarthikeyan, Genesh, & Sheering, 2016).

Ensayos de laboratorio en Taiwán permiten tratar los lodos como un agregado de peso ligero (LWA por sus siglas en ingles) en la elaboración de cemento, enfocándose en las propiedades de ingeniería, teniendo éxito en la aplicación industrial como cemento estructural y no estructural (Chung-Ho & Shun-Yuan, 2013).

Los lodos provenientes del tratamiento del agua deshidratados y estabilizados pueden ser utilizados como residuos compostables, correspondiendo como abono o enmienda orgánica.

Estos deben cumplir con requisitos y parámetros a caracterizar, para garantizar de esta forma su debido uso en el suelo, ya sea para uso agrícola, para suelos degradados, plantas de vivero o jardines (NTC 5167, 2011). Este compostaje suele ser utilizado para mejorar las condiciones físicas del suelo como son la estructura, drenaje, aireación, retención de agua, y condiciones químicas como son macronutrientes y micronutrientes, al igual que aumenta la población microbiana existente responsable de la mineralización de la materia orgánica (Norma de calidad de compost, 2000).

2.4 Marco conceptual

2.4.1 Conceptos relacionados con una PTAP. Las plantas potabilizadoras producen agua de buena calidad a partir del agua cruda disponible, utilizando diferentes métodos de tratamientos como lo son las plantas de tratamiento de agua convencional y compacta, en las cuales se realiza una serie de procesos que generan residuos, generalmente químicos, por el uso de algunos productos como el sulfato de aluminio, el cual es utilizado en las aguas como agente coagulante (Ramirez, 2003).

Agua cruda. Contiene sustancias tanto en suspensión como disueltas, pueden ser inertes, como las arcillas y arenas; o reactivas y biológicas, como el plancton y otros microorganismos. De aquí que las características de los lodos varíen en función de la calidad del agua bruta y de tratamiento de potabilización aplicado a esta (Blandon, 2010).

Lodos. Son sólidos con un alto contenido variable de humedad, provenientes de las plantas de tratamiento, según Franco (2014) los lodos son unos subproductos inevitables generados en plantas de tratamiento de agua potable, considerando este como residuo.

Contaminación hídrica. Se da por el aporte de materiales o formas de energía que alteran las características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que pueden afectar tanto al recurso natural como a la población en general (RAS título C, 2017).

Agregados. Son todos los elementos que se necesitan en la elaboración de un producto básicamente extraídos de la naturaleza, para su transformación e incorporación en la manufactura y contribución de bienes de consumo (Ochoa, 2009).

2.4.2 Características fisicoquímicas. Metales pesados. En concentraciones elevadas generan riesgos a la salud y el ambiente. Su efecto tóxico puede causar el mal funcionamiento del sistema fisiológico en los mamíferos y puede actuar como elementos sintéticos en el cuerpo, interfiriendo con los procesos metabólicos (Sneddon, 2012).

Según lo establecido por el autor Martel (2004) se determina que “El manganeso es un elemento esencial para la vida animal, sin embargo, grandes dosis de manganeso en el organismo pueden causar daños en el sistema nervioso central”.

Uno de los problemas que puede presentar el aluminio es la acidificación del medio, por efecto de la migración del aluminio presente en los sedimentos a los cuerpos de agua según Reuss & Jonson (1986) citado por Torrellas (2013). Indicado por el autor Fernández, et al (2012) “se ha determinado que cuando este elemento alcanza aguas superficiales y subterráneas se observa una disminución de peces y anfibios, debido a que los iones de aluminio pueden reaccionar con los fosfatos, impidiendo su disponibilidad para los organismos acuáticos”.

Los sulfatos pueden tener su origen por el coagulante utilizado en la PTAP, aguas ricas en yeso, o la contaminación antrópica del agua, por lo tanto, la presencia de este metal en concentraciones superiores a 300 mg/L pueden causar trastornos gastrointestinales en el ser humano. Se sabe que los sulfatos de sodio y magnesio tienen acción laxante, por lo que no es deseable un exceso de los mismos en las fuentes hídricas (Aguilera, Pérez, & Marañón, 2010).

La generación y características de los lodos varían en el tiempo y coagulante empleado por la PTAP, de acuerdo a esto, la presencia de sólidos totales (ST), sólidos suspendidos (SS) y sólidos volátiles (SSV) en una fuente son proporcional a la cantidad de lodo vertido, por lo que se presenta afectaciones en las fuentes hídricas por las formaciones de mantos o sedimentos de

lodos, lo que puede contribuir a que se vean alterados parámetros tales como color, turbiedad y conductividad (Ospina, García, Gordillo, & Tovar, 2016).

Para el adecuado funcionamiento fisiológico del ser humanos, otros mamíferos y peces el cobre es esencial en pequeñas cantidades (5-20 microgramos por gramo ($\mu\text{g} / \text{g}$)) para metabolizar carbohidratos (Solomon, 2009). El cobre en concentraciones elevadas puede reducir el olfato en los peces, afectando su alimentación (McIntyre, David, Meador, & Scholz, 2008).

Según agencias internacionales recomiendan que el agua potable tenga un pH entre 6.5 a 8.5. El agua que contiene minerales disueltos, tales como el manganeso y el hierro presentan pH bajos, por lo tanto, se hace necesario mantener un pH balanceado tanto para la salud humana como para la vida acuática, ya que los peces y otros organismos dependen de una buena calidad del agua (JAPAC, 2016).

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo según el IDEAM (2007).

Demanda biológica de oxígeno (DBO). Es la medida de la cantidad de oxígeno consumido por los organismos vivos en la oxidación microbiana o estabilización de la materia orgánica biodegradable presente en un residuo (IDEAM, 2007).

2.4.3 Características microbiológicas. Microorganismos. Son imperceptibles al ojo humano y se clasifican en dos categorías, procariota y eucariota. En la primera categoría están las archaeas y las bacterias, mientras que en la segunda se encuentran hongos, algas y protozoarios (Montaño, Sandoval, Camargo, & Sánchez, 2010).

En la inactivación de los Coliformes fecales se deben tener en cuenta factores ambientales como, la humedad, temperatura, luz ultravioleta, pH, ya que estos microorganismos al no encontrarse en un ambiente favorable y al no obtener los nutrientes necesarios para su crecimiento se hacen más susceptibles a la inactivación (Fuccz, Gomez, Cardenas, & Campos, 2007).

Microrganismos indicadores. La presencia de patógenos y el grado de contaminación en las aguas y suelo, usualmente, causan enfermedades en otros organismos, ya sea en humanos, animales o plantas, entre algunos organismos indicadores están los Coliformes totales, Coliformes fecales y Salmonella. Esta contaminación está relacionada con el vertido de agua de desecho de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua (Pulido, Navia, Estupiñán, & Prieto, 2005).

2.5 Marco Legal

La legislación ambiental colombiana cuenta con una serie de normas de importancia para la presente investigación, dentro de esta encontramos la constitución política de Colombia por su parte, en su artículo 80, establece la importancia de la protección de los recursos naturales y evitar el deterioro ambiental mediante herramientas de planificación (Constitucion Política de Colombia, 1991).

No obstante, la ley 99 (1993), en su artículo 30, define también algunas obligaciones de los entes territoriales, Nacional, Regional y local, respecto al tema de manejo de residuos. Como es el caso de las corporaciones autónomas regionales cuya función número 12 establece que debe:

Ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables, lo cual comprenderá el vertimiento, emisión o incorporación de sustancias o residuos líquidos, sólidos y gaseosos a las aguas en cualquiera de sus formas, al aire o a los suelos, así como los vertimientos o emisiones que puedan causar daño o poner en peligro el normal desarrollo sostenible de los recursos naturales renovables o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos.

En este artículo se evidencia la necesidad de seguimiento ambiental, para que existan procesos de intervención y control que sea realmente efectivo para abordar las diferentes problemáticas, como lo es en nuestro caso, el inadecuado manejo de lodos en las PTAP.

El decreto 1713 (2002) referente al tema de la disposición final lo define como:

El proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.

Establecido por este mismo decreto, a los lodos se les debe dar un manejo, tratamiento y disposición final adecuado el cual es definido también por el mismo decreto como: “El conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos sólidos incrementando sus posibilidades de reutilización o para minimizar los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana”

Estas definiciones pueden encontrarse bajo el concepto de la gestión ambiental, cuya amplitud pueden subdividirse en diferentes disposiciones como la Gestión integral de residuos sólidos, definida en el decreto mencionado previamente como:

El conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final.

Los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de agua potable son un residuo sólido teniendo en cuenta lo definido en el decreto 2981 (2013), el cual establece:

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo.

Por último, en el decreto 3930 (2010) derogando al decreto 1594 de 1984, por el cual se reglamenta el uso del agua y residuos líquidos y se dictan otra disposición, tiene como principal objetivo de establecer las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y al alcantarillado.

En cuanto a la disposición de los lodos en fuentes hídricas, se establece en su artículo 25, como actividades no permitidas que:

Los sedimentos, lodos, y sustancias sólidas provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de contaminación ambiental, no podrán disponerse

en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, y sistemas de alcantarillado, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos.

En el mismo decreto mencionado se define vertimiento puntual como: “El que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo”.

Teniendo en cuenta estas definiciones y dadas las características mencionadas con anterioridad los lodos provenientes de las PTAP, estos han de ser considerados como un residuo contaminante al cual es de gran importancia dar un manejo, tratamiento y disposición final.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación

Se planteó un tipo de investigación descriptiva, con la finalidad de describir y caracterizar las propiedades de la muestra de estudio, y también la frecuencia con la que ocurre (Navarro, 2009), lo cual nos permitió generar conocimiento sobre el proceso y la condición de la muestra.

Dentro del enfoque de la investigación el presente proyecto se encuentra clasificado en el paradigma cuantitativo; esta investigación examina las relaciones entre las variables y la descripción numérica de las tendencias de los datos a fin de proporcionar respuestas para las preguntas e hipótesis de investigación (Bryman, 2007) permitiendo el procesamiento de los datos obtenidos en la caracterización de los lodos para la aplicación más viable.

El diseño metodológico se basó en la investigación experimental, la cual se realizó con la manipulación de diferentes variables independientes, observando fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos (Price, Jhangiani, & Chiang, 2015), ya que el ensayo trata con variables en torno a la descontaminación del efluente, se tendrían variables independientes a evaluar o establecer para su observación.

3.2 Metodología

El desarrollo metodológico del proyecto se llevó a cabo en cuatro etapas. La etapa preliminar, donde se realizó una revisión bibliográfica para conocer el manejo adecuado del

tratamiento y disposición de los lodos para plantear alternativas que permitan que los lodos sean aprovechados como materia prima o agregado. Para el ingreso a la PTAP se estableció contacto con funcionarios de la empresa ESPO S.A. dando a conocer la intención de desarrollar un estudio enfocado a la investigación y proposición de soluciones a la problemática identificada en la operación de la planta de tratamiento de agua “El Algodonal” y de esta forma poder obtener el ingreso a la misma; seguido de esto se realizaron las tres etapas enumeradas a continuación.

3.2.1 Primera etapa. Una vez conocido el funcionamiento de la planta, se escogieron los tanques de sedimentación para la toma de muestras debido a que estos contienen mayor cantidad de lodos y es de fácil acceso para ingresar a la toma de muestra.

3.2.1.1 Muestreo de lodos. Una vez conocido el funcionamiento de la planta se realizó un muestreo de los lodos en los tanques sedimentadores debido a que estos contienen mayor cantidad de lodos y es de fácil acceso para ingresar a la toma de muestras como se logra apreciar en la figura 2. Los días de la toma de muestras se realizaron en el tiempo estipulado por el ingeniero a cargo para el protocolo de vaciado y limpieza de los tanques sedimentadores, ya que su limpieza varía dado a las condiciones atmosféricas; en tiempo de verano estos son lavados cada mes, mientras que en tiempo de invierno se lavan cada quince (15) días, por la turbiedad y cantidad de sólidos presentes en el agua.



Figura 2. Delineados en rojo se enumeraron de izquierda a derecha como uno, dos, tres y cuatro.

Por un periodo de tres meses a las 6:00 am se realizó un muestreo compuesto de los lodos. Cada tanque se dividió en tres secciones, tomándose cuatro puntos en cada sección a lo largo de la unidad de sedimentación y se mezclaron en un balde cilíndrico (previamente purgado) para obtener una muestra homogénea y representativa de los lodos.

Una vez tomadas las muestras se depositaron en los recipientes y se dejaron decantar durante 7 horas (h) con el fin de permitir la sedimentación del lodo y poder extraer el lixiviado, para posteriormente realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del mismo en el laboratorio de aguas de la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña. La muestra se transportó al laboratorio en un lapso no mayor a 24 h, para los análisis fisicoquímicos, el agua se depositó en un recipiente plástico esterilizado de 1000 mL y para el análisis microbiológico en un recipiente de vidrio pírex tapa azul de 300 mL según lo estipula la norma.

Luego el lodo se acondiciono sobre material impermeable con dimensiones de 7 metros (m) de largo por 4 m de ancho, para un área total de 28 m² y se dejó al sol por 72 h para su deshidratación y reducción de la proliferación de vectores, estos lodos deshidratados se almacenaron en bolsas plásticas selladas al vacío después de cada recolección. Todo el material recogido fue homogeneizado y pasado atreves un tamiz, para ser nuevamente analizado.

3.2.1.2 Caracterización fisicoquímica. La caracterización fisicoquímica del lodo fue realizada en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO), en el laboratorio de aguas según la metodología de Standard Method (2005).

Se tuvo en cuenta el trabajo realizado por los autores Gutiérrez, Ramírez, Rivas, Linares, & Paredes (2014) para los siguientes parámetros: pH, humedad, DQO, DBO, SST, ST, SS, hierro, manganeso, hierro, fosfato, nitrato, Nitrito, cobre, aluminio y sulfato.

3.2.1.3 Caracterización mecánica. La caracterización física del lodo se realizó en la UFPSO sede INVIAS en el laboratorio de suelos. Para determinar la caracterización física del lodo objeto de estudio, se realizaron los ensayos relacionados en la tabla 1.

Tabla 1
 Ensayos físicos realizados a la muestra de lodo, laboratorio INVIAS

ENSAYO	NORMA EMPLEADA
Determinación en laboratorio del contenido de humedad en muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado	I.N.V. E -122 NTC 1495 ASTM D 2216-10
Análisis granulométrico de suelos por tamizado e hidrómetro	I.N.V. E -123
Determinación del Limite Liquido de los suelos	I.N.V. E -125 ASTM D 4318
Limite Plástico e Índice de Plasticidad	I.N.V. E -126 ASTM D 4318
Determinación de la gravedad Especifica de las partículas sólidas de los suelos y de la llenante mineral, empleando un picnómetro con agua	I.N.V. E -128 NTC 1522

Nota: Orden de ensayos físicos realizados en el laboratorio de la UFPSO sede INVIAS según la norma estipulada para su protocolo.

3.2.1.3.1 Ensayo de humedad natural.

Para la realización de este ensayo se utilizó como guía la I.N.V. E-122; donde a partir de muestras inalteradas, se realizó el cálculo de la humedad de tres muestras teniendo en cuenta lo especificado en la norma de la siguiente manera:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} * 100 = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde w es el contenido de agua (%), W_1 masa del recipiente con el espécimen húmedo (g), W_2 masa del recipiente con el espécimen seco (g), W_c masa del recipiente (g), W_w masa del agua (g) y W_s masa de las partículas solas.

3.2.1.3.2 *Análisis granulométrico de suelos por tamizado e hidrómetro.* Para la realización de este análisis se siguieron los lineamientos descritos en la norma I.N.V. E-123, comenzando por obtener una muestra significativa del material mediante cuarteo, adicionalmente se tuvo en cuenta que la muestra estuviera seca y que no tuviera grumos para evitar alteraciones durante el tamizado, para realizar la granulometría se utilizó la serie de tamices, indicados por tamaño en la figura 3.

Tamiz de 76,1 mm (3 pulgadas)
 Tamiz de 50,8 mm (2 pulgadas)
 Tamiz de 25,4 mm (1 pulgada)
 Tamiz de 19,0 mm (3/4 de pulgada)
 Tamiz de 12,7 mm (1/2 de pulgada)
 Tamiz de 9,51 mm (3/8 de pulgada)
 Tamiz de 4,76 mm (No.4)
 Tamiz de 2,38 mm (No.8)
 Tamiz de 2,00 mm (No.10)
 Tamiz de 0,425 mm (No.40)
 Tamiz de 0,075 mm (No.200)



Figura 3. Tipos de tamices utilizados en el ensayo, ejemplo de tamiz No.40 y ensayo de Hidrómetro en la muestra de estudio.

Teniendo en cuenta la pérdida de material, una vez pasado por el tamiz se realizó el ajuste correspondiente implementando la siguiente fórmula:

$$Ajuste = \frac{D_h}{W_t} * \% Mf_h$$

Donde D_h es el diámetro hidrómetro, W_t peso del tamizado y $\% Mf_h$ porcentaje más fino.

3.2.1.3.3 Determinación del límite líquido de los suelos. Según los lineamientos de la I.N.V. E-125 se define como el contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, cuando se halla en el límite entre los estados líquido y plástico (I.N.V., 2012), se utilizó el método A obteniendo un ensayo de varios puntos donde se procesó la muestra de suelo pasando el material por el tamiz de 425 μm (No.40).

3.2.1.3.4 Determinación del límite plástico y el índice de plasticidad. Teniendo en cuenta lo estipulado en la norma I.N.V. E-126, donde el ensayo para determinar el límite plástico se realiza sobre el mismo material preparado para la determinación del límite líquido, el método utilizado para la realización del ensayo fue el manual.

3.2.1.3.5 *Determinación de la gravedad específica.* Las partículas sólidas de los suelos y de la llenante mineral, empleando un picnómetro con agua. Teniendo en cuenta lo estipulado en la norma I.N.V. E-128-13 donde se define la gravedad específica de las partículas solidad del suelo, G_s como la relación entre la masa de un cierto volumen de solidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas a igual temperatura. La temperatura generalmente usada como referencia es 20°C. Para el ensayo se utilizó el método de tres picnómetros como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Ensayo determinación de la gravedad específica fracción fina.

3.2.2 Segunda etapa. Se seleccionaron alternativas según la bibliografía y resultados de la caracterización, para dar un uso adecuado a los lodos generados, identificando la estrategia que pueda solucionar de forma pertinente y según las delimitaciones del tiempo. Se implementaron las alternativas de bioensayo para aplicación de acondicionador de suelo y fabricación de ladrillo, siendo estas las más viables, según la bibliografía.

3.2.2.1 Acondicionador del suelo. Según la NTC-1927 la definición técnica de acondicionador del suelo es la siguiente “toda sustancia cuya acción fundamental consiste en el mejoramiento, de por lo menos, una característica física, química o biológica del suelo”, en este contexto, se evaluará el potencial de los lodos como agente para el mejoramiento del suelo orientado a la restauración.

Los acondicionadores del suelo ayudan a liberar y facilitar la disponibilidad de nutrientes, favoreciendo el desarrollo de las raíces; permiten un mejor aireado para el buen crecimiento de las plantas e incremento en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), en general, los acondicionadores ayudan en el mejoramiento de las condiciones del suelo, lo que contribuye en el rendimiento de los cultivos de una forma óptima (SCCS, 2013).

Para la implementación del lodo como acondicionador del suelo se tuvo en cuenta las investigaciones y metodologías realizadas en el documento BAS (2002), así como los síntomas que estos presentaron en caso de que escaseen de algún tipo de nutrientes como se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2

Síntomas de carencia en las plantas

Nutriente	Signo de deficiencia en una planta
Nitrógeno	Plantas de crecimiento retrasado, decoloración amarillenta de las hojas a partir de la punta (clorosis). Las hojas más bajas pueden morir prematuramente mientras la cima de la planta permanece verde.
Potasio	Crecimiento reducido, enanismo. Bordes expresiones de las hojas oscuras (necrosis de los bordes); hojas marchitas. Frutos pequeños. Encamado.
Fosforo	Crecimiento retrasado. Hojas oscuras azuladas y moradas a partir de la punta. Los frutos aparecen deformados y los granos vacíos.

Nota. Resultados en las plantas al ser expuestas a diferentes elementos y su efecto en el crecimiento. Fuente: (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

Dado como limitante el tiempo y espacio para el bioensayo se realizaron algunas modificaciones con las mezclas mencionadas. Se implementó bovinaza ya que es un producto utilizado con frecuencia en la agricultura de la región para mejorar el suelo y el lodo como un posible agregado o cosustrato de la bovinaza.

Se escogió una parcela con un área total de 8m² ubicada en el jardín botánico Jorge Enrique Arenas de la UFPSO, donde esta fue dividida en cuatro parcelas experimentales de 2 m². Las parcelas tendrán diferentes cantidades de abono y lodo, para hacer una comparación del beneficio del lodo al aplicarse en suelos para cultivo o restauración. Se realizó una labranza mínima sobre el terreno para su des compactación y aireación, como se evidencia en la figura 5.



Figura 5. Delimitación y adecuación del terreno por medio de una labranza mínima.

Las cuatro parcelas se conformaron con porcentajes de mezcla de lodo (L)-bovinaza (B), como se evidencia en la figura 5, de la siguiente manera: una con solo tierra, una 100% L, una 100% B y una con 50%-50% B-L; se sembraron en las diferentes parcelas hortalizas como pepino y rábano en cantidades iguales mostrado en la tabla 3. Se evaluó durante un mes el crecimiento y porcentaje de germinación de las diferentes especies sembradas en todos los porcentajes de mezcla.

Tabla 3
Conformación de especímenes sembrados en las diferentes mezclas

Condiciones	1	2	3	4	5	6	7	8
Relación % L-B	100%-0%	100%-0%	50%-50%	50%-50%	0%-100%	0%-100%	0%-0%	0%-0%
Tipo de semilla	Pepino	rábano	Pepino	Rábano	pepino	Rábano	pepino	rábano
Número de especímenes	5	15	5	15	5	15	5	15

Nota. Relación de la cantidad de semillas sembradas en cada bioensayo según su porcentaje de mezcla.

La siembra del pepino se hizo a una profundidad de 1 cm conservando una distancia de 50 cm entre cada semilla y la siembra del rábano se hizo a una profundidad de 1 cm conservando una distancia entre 10 cm entre cada semilla según Fercon (2018).

Se tomaron 20 kg de bovinaza como acondicionador orgánico, de la granja experimental en la UFPSO y se le hizo su respectivo tratamiento para implementación en el suelo, asimismo, se hizo recolección de 20 kg de lodo seco como se evidencia en la figura 6.



Figura 6. Preparación de bovinaza a utilizar en el terreno e. Implementación del lodo en la parcela 100% lodo.

El riego de las parcelas es una de las fases más importantes en el manejo del suelo, el agua permite el transporte de los diferentes elementos que requiere una planta para su desarrollo, dando así un adecuado crecimiento al pepino y rábano. La hidratación del terreno se hizo por medio de un sistema de riego garantizando humedad en la mañana y en la noche. El proceso de irrigación se realizó en horas de la mañana antes de las 8 am y en horas de la tarde después de las 5 pm. En este suelo se implementaron hortalizas y se observó su crecimiento.

3.2.2.2 Elaboración de ladrillo artesanal. Se realizó un ensayo de campo con los materiales usados en la ladrillera artesanal en términos del propietario del chircal, arcilla cara (refiriéndose a una arcilla de mejor calidad), arcilla barata (refiriéndose a una arcilla de menor calidad), arena y lodos de la planta algodonal para determinar los porcentajes de arena, limo y arcilla en el suelo, ya que se dificultó estos ensayos en el laboratorio de INVIAS.

Para el ensayo se tomaron 300 g de cada muestra y se añadieron a una botella PET con un litro de agua, para posteriormente agitar vigorosamente y dejar reposar por una hora. Dada la densidad de las partículas.

Los ladrillos macizos se elaboran después de una serie de procesos de fabricación, como la mezcla de materias primas y moldeo. La preparación se compone de una mezcla del material con porcentajes de arena y arcilla. El moldeo es donde se le añade suficiente agua al material para producir plasticidad para obtener la forma deseada, teniendo en cuenta que este tipo de lodos posee características de plasticidad similares a la arcilla, se planteó la alternativa de su implementación como materia prima en la fabricación de ladrillos.

Con el fin de optimizar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta las mezclas realizadas con las diferentes dosificaciones se aplicó el método simplex, considerando una variable adicional que involucrara la caracterización mecánica de los especímenes teniendo en cuenta su resistencia a la compresión y de esta forma evaluar cuál es la mezcla con el mejor comportamiento.

Para la elaboración del ladrillo se homogenizó la muestra por medio de un molino mecánico y se dosificó según lo arrojado por el método simplex donde se tuvo en cuenta la cantidad de arcilla, lodo y arena. Los materiales se mezclaron de forma homogénea y se añadió agua hasta obtener una textura adecuada, suave y cohesiva, como se evidencia en la figura 7.



Figura 7. Mezcla de los diferentes componentes usados en la elaboración del ladrillo.

Ya obtenidas las condiciones adecuadas de mezcla se introdujo en un molde para dar las dimensiones necesarias al ladrillo, se retiró el molde para dejarlo secar al sol por una semana, identificado en la figura 8, dando volteos periódicos para permitir un secado parejo, luego se introdujeron al horno artesanal por una semana. Una vez terminado el proceso de secado y cocción los ladrillos se dejaron a temperatura ambiente (reposar) por tres días dando como producto final un ladrillo macizo.



Figura 8. Marco para el moldeado y secado al sol del ladrillo.

3.2.2.2.1 *Propiedades físicas y mecánicas de los especímenes (ladrillos). Ensayos de laboratorio.* Para determinar la caracterización física de los ladrillos con agregado de lodo objeto de estudio se realizaron los ensayos relacionados en la tabla 4.

Tabla 4
Realizados a la muestra de lodo

ENSAYO	NORMA EMPLEADA
Módulo de rotura y carga de rotura a flexión	NTC 4017(Segunda Actualización)
Resistencia a la compresión	NTC 4017(Segunda Actualización)
Absorción	NTC 4017(Segunda Actualización)

Nota. Ensayos pertinentes a los especímenes (ladrillo) según su normatividad.

Colocación del espécimen. Se utilizaron especímenes de tamaño regular como serán utilizados en obra con dimensiones aproximadamente similares, se hizo la colocación con el lado plano hacia abajo sobre los soportes (barras solididad de acero) y se procedió a aplicar la carga en la cara superior del espécimen, como se muestra en la figura 9.

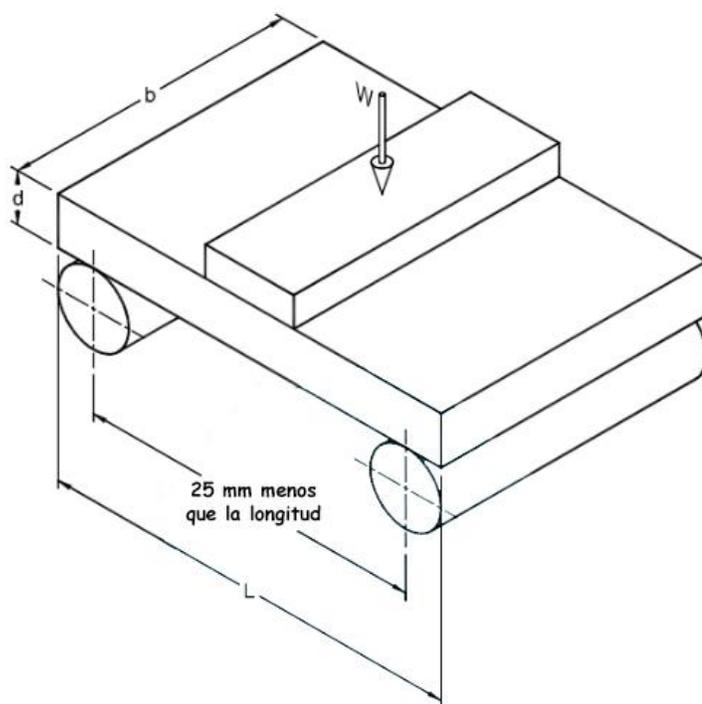


Figura 9. Esquema de montaje colocación del espécimen. Fuente: NTC-4017 (Segunda Actualización).

Donde W es la carga aplicada (N), L longitud del espécimen (mm), b ancho (mm) y d alto (mm).

Aplicación de la carga. En este procedimiento se tuvo en cuenta lo estipulado en la norma teniendo una velocidad de aplicación de la carga entre 100 N/s y 150 N/s; en la figura 10 se muestra un espécimen después de la aplicación de la carga.



Figura 10. Montaje de espécimen en maquina universal.

En total se ensayaron siete (7) especímenes, teniendo en cuenta las mezclas planteadas, compuesto de diferentes porcentajes de los materiales disponibles variando el material alternativo (lodo), las mezclas planteadas se relacionan en tabla 5.

Tabla 5
Relación mezclas especímenes fabricados

Arcilla	Arena	Lodo	Especímenes
50%	50%	0%	3
35%	50%	15%	3
25%	50%	25%	3
15%	50%	35%	3
10%	50%	40%	3
5%	50%	45%	3

Nota. Los diferentes porcentajes evidencian la mezcla entre arcilla, arena y lodo que compone cada uno de los especímenes ensayados.

Resistencia a la compresión. Para la realización de este análisis se siguieron los lineamientos descritos en la norma NTC 4017, comenzando por caracterizar los especímenes que se van a utilizar en el ensayo y preparar el espécimen para el ensayo.



Figura 11. Dimensionamiento de especímenes mediante un calibrador.

Una vez obtenida la relacional dimensional como se muestra en la figura 11, se procedió a realizar el proceso de refrentado de los especímenes para el ensayo, se tuvo en cuenta que estos estuvieran secos y a temperatura ambiente buscando planitud y paralelismo en la superficie donde se iba a aplicar la carga, el refrentado se realizó utilizando una mezcla de cementante tipo yeso, con el que se hizo un recubrimiento no mayor a 3 mm, como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Refrentado de los especímenes.

Colocación del Espécimen. Los especímenes (ladrillos) se colocaron en la posición en el que serían puestos en servicio, como se indica en la norma. Se verifico que los platos metálicos estuvieran libres de impurezas, se alinea el espécimen con el centro del plato para que quedara asentado uniformemente y se procedió a aplicar la carga en la cara superior del espécimen como se puede evidenciar en la figura 13. Se utilizaron especímenes de tamaño regular con dimensiones muy similares.



Figura 13. Colocación del espécimen para ensayo de compresión.

Aplicación de la carga. Teniendo en cuenta el criterio de falla, se llevó el ensayo de compresión hasta la carga máxima que los especímenes podían soportar. Durante el desarrollo de los ensayos se pueden evidenciar fluctuaciones en la carga aplicada antes de su valor máximo de rotura, esta se evidencia por una disminución de la lectura de la carga en el momento en que se produce la flexión del espécimen por lo cual fue necesario implementar cálculos para su correcta lectura evidenciado a continuación:

$$\text{Resistencia a la compresión, } C = \frac{W}{A}$$

Donde C es la resistencia del espécimen a la compresión (MPa), W carga máxima de rotura (N), indicada por la máquina de ensayo y A promedio del área bruta de las superficies superior e inferior del espécimen (mm^2).

Ensayo de Absorción. Según los lineamientos de la NTC 4017 se establece que a los especímenes se les debe realizar un ensayo de absorción de agua, este puede hacerse por dos métodos por Inmersión durante 24 h o Absorción por Ebullición (1h, 2h y 5h). Para este caso específico se utilizó el método de inmersión donde se utilizó una balanza con una precisión y un recipiente que permita realizar una saturación total del espécimen, inicialmente se realizó el peso de los especímenes a estudiar, seguido de esto se hizo el proceso de saturación sumergiendo totalmente durante 24h y se procedió a realizar el pesaje nuevamente.

Para los cálculos se utilizó la ecuación que se describe a continuación:

$$\% \text{Absorción} = \frac{100 * (W_{SSS} - W_S)}{W_S}$$

Donde W_S es el peso seco del espécimen antes de la inmersión (g) y W_{SSS} peso del espécimen saturado superficialmente seco (g).

3.2.2.2.2 *Relación costo beneficio alternativa de ladrillo macizo con material alternativo.* Para el análisis de la viabilidad de la alternativa planteada, ladrillos macizos con lodo agregado, se utilizó el análisis coste-beneficio (ACB) la cual se define como una metodología para evaluar los costes y beneficios de un proyecto en este caso de un producto, el objetivo básico es determinar si el producto es viable desde diferentes puntos de vista como el bienestar social, el ambiental entre otros. Se busca específicamente que la relación de costes y beneficios se cuantifiquen y expresen en unidades monetarias, esto con el fin de calcular los beneficios netos del producto para la sociedad.

Según De Rus, G (2010) y la Europea Commission (2008) se definen cinco fases donde se utiliza la metodología como una herramienta de evaluación que tiene como objetivo maximizar el bienestar social, promoviendo la asignación eficiente de los recursos (Aguanza, B. O., 2012) de manera resumida se explicaran las fases de la metodología y la aplicación para el producto.

1. Identificación del producto, definición de los objetivos socioeconómicos determinando la viabilidad técnica del proyecto.
2. Establecer la viabilidad financiera del proyecto, definiendo la distribución de los ingresos y gastos.
3. Identificación de los costos y beneficios sociales del proyecto en el tiempo.
4. Asignación de términos monetarios a los recursos empleados y los resultados generados por el proyecto.
5. Relación de costos-beneficio.

3.2.2.3 Aplicación teórica del lodo en cemento. Según la revisión bibliográfica y su comparación con la caracterización realizada se encontró que el lodo es un material con alto potencial de ser incorporado dentro de las fórmulas que componen un cemento en el área de la construcción, permitiendo la reducción de costos de producción (Ceron, Millan, Fabrcio, & Rodriguez, 2019).

3.2.3 Tercera etapa. Se realizaron cálculos de producción y frecuencia de lodos para determinar la cantidad a tratar dentro del diseño del sistema de recolección, tratamiento y disposición final, y se elaboró un ecomapa como herramienta para visualizar los puntos de impacto sobre el proceso.

3.2.3.1 Ecomapa. Este es importante ya que es una herramienta de diagnóstico y de fácil aplicación que se representa mediante el uso de figuras o gráficos, permitiendo hacer un inventario rápido de procesos y problemas para determinar áreas donde se estén presentando posibles impactos ambientales y de esta forma aplicar opciones de producción más limpias.

Para la realización del ecomapa de agua, se analizó el plano de distribución de la PTAP y las etapas productivas que generan impacto ambiental, identificando las entradas y salidas del proceso, para establecer cuáles son las áreas de posibles afectaciones ambientales; de igual forma se tuvo en cuenta las especificaciones de las zonas de uso del recurso hídrico, procesos que contaminarían la fuente hídrica, puntos de vertimientos y malas prácticas según lo indican los autores Van Hoff, Monroy, & Saer (2008).

3.2.3.2 Cálculo de volumen de lodos. Para determinar el volumen de los lodos se utilizó la fórmula de volumen de un prisma trapezoidal según las alturas tomadas en planta, por las marcas de lodos en el tanque de sedimentación.

$$\text{Volumen de trapezoide} = L \cdot H [P + (Q/2)]$$

Donde L es el largo, H alto, P ancho inferior y Q ancho superior.

Para calcular la cantidad de lodo seco en un sedimentador se tomaron 3 muestras separadas de lodo de 1 litro cada una, el día de lavado del tanque, para realizar el ensayo por triplicado. Se vertió 500 mL de cada muestra en un cilindro graduado (previamente pesado), dejando decantar por 6 h (concentración volumétrica) retirando el sobrenadante y se secó el lodo restante por 3 días al sol y 24 h en un horno a 105 °C, una vez terminado el secado se pesó el recipiente con el contenido de lodo lo que permitió conocer el contenido de lodo seco por volumen.

3.2.3.3 Diseño de lecho de secado. Los lechos de secado son diseños sencillos y de bajo costo que permiten el manejo y tratamiento de los lodos, mediante la deshidratación por medio de la filtración y evaporación; como residuo final del tratamiento se obtiene un material sólido con un contenido de humedad inferior al 70% (Lopez, 2013).

El diseño tuvo como guía la resolución 0330 de 2017, la cual tiene como objetivo lo siguiente: “Reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo”.

Para la elaboración del lecho de secado se debe realizar levantamiento topográfico, dimensionamiento del área a ser utilizada y la adecuación del terreno. El lecho debe tener mínimo cuatro celdas. Su diseño depende del caudal de salida de la descarga de lodos, con profundidades de aplicación de 0.3 a 0.9 m, el lodo se aplica sobre el lecho en forma de capas de 20 a 40 cm de espesor y se deja secar al ambiente (Resolución 0330, 2017)

Para el diseño del lecho de secado nos basamos en el (RAS, 2000) en el título E donde se establece las siguientes consideraciones técnicas:

3.2.3.3.1 Geometría. Un lecho de secado típico debe ser diseñado para retener en una o más secciones, el volumen total de lodo removido del digestor. Los elementos estructurales del lecho incluyen los muros laterales, tuberías de drenaje, capas de arena y grava, divisiones o tabiques, decantadores, canales de distribución de lodo y muros.

Los muros laterales deben tener un borde libre entre 0.5 y 0.9 m por encima de la arena, y debe asegurarse que no existan filtraciones laterales a través de los muros separadores.

3.2.3.3.2 Drenajes. Los medios de drenaje están compuestos por capas de grava y arena, la capa de grava debe tener un espesor entre 200 - 460 mm y la capa de arena un espesor entre 300 - 460 mm; las partículas de grava deben tener un diámetro entre 3 - 25 mm y la arena debe tener un tamaño efectivo de los granos entre 0.3 - 0.75 mm. En algunos casos, en vez de arena se puede usar antracita o grava fina con tamaño efectivo de 0.4 mm.

La recolección de percolados se debe efectuar a través de tuberías de drenaje que deben tener no menos de 100 mm de diámetro y una pendiente no menor a 1%; deben espaciarse entre 2.5 y 6 m. Se deben localizar por debajo de la capa de grava con no menos de 150 mm de este material por encima de ellas

La cubierta proporciona un techo al lecho de arena y su utilización depende de las condiciones ambientales de la zona. En condiciones climatológicas favorables, la evaporación es más rápida en los lechos descubiertos que en los cubiertos.

Es necesario antes del lecho de secado un tanque de espesamiento, el cual reduciría la cantidad de agua en el lodo y permitiría un mejor funcionamiento del lecho de secado. Para la adecuada construcción del tanque de espesamiento es necesario cálculos hidráulicos para determinar su tamaño, porcentaje de carga y desbordamiento, obteniendo un dato preciso; estos cálculos no se pudieron realizar como lo fue con el lecho de secado dada a la complejidad de los análisis a realizar y la necesidad de una planta piloto.

El sistema de manejo y/o secado de lodos se realizó por medio del software AutoCAD y su modelación por Autodesk Revit, algunos datos fueron tomados en campo, ya que la información no fue suministrada por la empresa. De forma empírica se plantea el tamaño y lugar del lecho de secado para el tratamiento y disposición final del lodo, por falta de planos estructurales y redes de tuberías de desagüe.

3.3 Población

Los lodos sedimentados del tanque de sedimentación de la PTAP el algodonal de ESPO S.A. “E.S.P.”, ubicada en Ocaña, Norte de Santander, delimitan la población en esta investigación.

Se tomó el tanque de sedimentación por su fácil acceso y concentración de lodos. Por seguridad de acceso el tanque de sedimentación permite ingresar sin dificultad para toma de la muestra en comparación con el desarenador, filtro y floculador, los cuales contiene residuo de

lodos. La investigación demanda grandes cantidades de lodo para la implementación de ciertas alternativas, por lo cual los lodos del tanque de sedimentación permitían la toma de grandes cantidades en comparación con los demás puntos de concentración de lodos, previamente mencionados.

3.4 Muestra

La planta de tratamiento, como ya se ha mencionado, genera diferentes residuos que dependen del proceso de la planta y fuente de donde es captada el agua; el punto de donde se toma determina las características del lodo que se genera. La muestra son los lodos generados en el tanque de sedimentación de la planta de tratamiento de agua potable “sede algodonal”.

La toma de la muestra se realizó de forma aleatoria, para generar una muestra compuesta de los cuatro tanques de sedimentación, para su posterior caracterización fisicoquímica, microbiológica y mecánicas.

3.5 Recolección de información y muestras.

El proyecto se realizó en la planta de tratamiento de agua potable ESPO S.A “E.S.P”, en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, donde se desarrollaron visitas tanto en la sede administrativa, como en la planta de potabilización “sede algodonal”. Fue necesario recolectar las muestras e información necesaria a cerca de la operación de la planta de agua potable y por

ende la producción de lodos en su proceso de sedimentación, teniendo en cuenta la cantidad, características y manejo de estos (NTC-ISO 5667-1, 2010).

La recolección de los lodos se hizo de manera puntual en los tanques de sedimentación, de carácter aleatorio, dividiendo el tanque en tres partes y tomando cuatro muestras por cada parte; dando un total de doce muestras aleatorias, para generar una muestra compuesta del tanque.

Con el objetivo de elaborar un diagnóstico de los parámetros y características de los lodos (Raigosa, 2012), todas las muestras se almacenaron para unificarlas y homogenizarlas en una sola al finalizar el periodo de recolección de los lodos (4 meses).

La muestra individual se secó al sol por 72 h y se almaceno después de cada recolección, y posteriormente todo el material recolectado se homogenizo, molido y cernido para obtener partículas de diámetro menor (Benlalla, Elmoussaouiti, Dahhou, & Assafi, 2015).

Durante las visitas a la planta de tratamiento fue necesario utilizar ciertos materiales para la caracterización de la muestra (los equipos a utilizar dependieron de los diferentes parámetros a analizar), los cuales se relacionan en la tabla 6.

Tabla 6
Materiales para la caracterización de la muestra

HERRAMIENTAS	REACTIVOS	SACHET
Botellas de vidrio cilíndricas	Solución Digestora	FerroVer
Botellas plásticas	Ácido sulfúrico	CuVer
Baldes	Sulfato Manganoso	SulfaVer
Lodo	BOD nutrient	Ácido ascórbico
Agua destilada	Álcali-yoduro-azida	Bleaching

Nota. La tabla muestra los materiales utilizados para la caracterización de la muestra de estudio.

3.5.1.1 Etiquetado de las muestras. Teniendo en cuenta la importancia de identificar las muestras, se diseñó una etiqueta que contuviera la información relevante para facilitar los procesos y la tabulación adecuada de los datos obtenidos, como se observa en la figura 14.

 <p>Ingeniería Ambiental UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</p>
N° de la muestra:
Fecha:
Hora:
Sitio de muestreo:
Tipo de análisis:
Parámetro:
Responsable:

Figura 14. Diseño de etiqueta para muestra de agua.

3.6 Análisis de información

Los análisis se realizaron por medio de los datos obtenidos en el laboratorio, producto de la caracterización del lodo para conocer las propiedades del mismo, se representaron de forma cuantitativa y se deberán analizar a través de métodos estadísticos para la comprobación de la hipótesis (Sampieri, Collado, & Baptista, 2010). Se hizo una comparación entre los resultados obtenidos y la revisión bibliográfica para escoger la alternativa de uso más factible para las características de los lodos.

Capítulo 4. Resultados

La primera etapa estuvo compuesta de diferentes actividades para la ejecución del primer objetivo específico. Los muestreos se realizaron en los tiempos de verano e invierno dentro de periodos adecuados para la toma de muestra, ya que no se realizaron consecutivamente como se identifica en la tabla 7; en tiempo de verano estos fueron lavados cada mes, mientras en tiempo de invierno estos son lavados cada quince días, por la turbiedad y cantidad de sólidos presentes en el agua.

Tabla 7
Muestreo en los diferentes tiempos climáticos

Mes	Días	Año	Tiempo
Julio	26, 28, 29 y 30	2018	Verano
Septiembre	12, 13, 14 y 15	2018	Invierno
Octubre	13, 14, 16 y 25	2018	Invierno

Nota. Muestreos en los diferentes tiempos climáticos según los días específicos.

4.1 Análisis de la caracterización del lodo.

La caracterización del lodo fue realizada en la UFPSO, los análisis fisicoquímicos se realizaron en el laboratorio de aguas y la caracterización mecánica se realizó en la sede de INVIAS. Estos se hicieron para conocer las propiedades del lodo, su posible afectación al ser vertido directamente en la fuente hídrica dada su composición y para comparar con la bibliografía para identificar su posible uso en diferentes alternativas.

A continuación, se presenta el reporte de resultados de la muestra de lodos de la PTAP ESPO S.A., obtenida de los tanques de sedimentación.

4.1.1 Propiedades fisicoquímicas. Los metales pesados como el hierro y manganeso, están relacionados con la turbiedad, sabor, olor y color indeseable, no permitiendo el paso de la luz para el desarrollo de la biodiversidad, altos niveles de estos usualmente contiene bacterias de los mismos, que no causan problemas de salud, pero sí causan problemas en el uso y manejo del recurso hídrico (Monty C. & Mark L., 2001).

Para el adecuado funcionamiento fisiológico del ser humanos, otros mamíferos y peces el cobre es esencial en pequeñas cantidades, en concentraciones elevadas puede reducir el olfato en los peces, afectando su alimentación (McIntyre, David, Meador, & Scholz, 2008), una vez las concentraciones excedan estos límites se observarán signos de toxicidad (Bradly, 2005).

En muy bajas concentraciones estos metales son necesarios para el funcionamiento bioquímico de organismos vivos y su estructura fisiológica, demostrando ser nocivos al exceder los límites máximos permisibles (Shah, 2017). En el ambiente estos son significativos ya que su toxicidad es un problema en escenarios como el ecológico por razones evolutivas, nutricionales y ambientales (Kibria, 2014).

Los parámetros fisicoquímicos que se analizan en esta investigación son los relacionados en la tabla 8, según lo establecido por la resolución 0631 de 2015 respecto a vertimientos a cuerpos de aguas superficiales, los límites máximos permisibles para cada parámetro y paralelamente se muestra el decreto 1594 de 1984 donde se tuvo en cuenta los diversos usos del agua.

Tabla 8
Análisis fisicoquímico tiempo de verano e invierno

Parámetros	Unidades	Res 0631/2015	Dec 1594/1984	Tiempo de verano				Tiempo de invierno			
				Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4
Fosfato	mg/L	-	-	0.20	0.15	0.30	0.38	0.80	1.04	1.19	0.43
Manganeso	mg/L	-	0.2	5.27	6.50	6.37	4.03	4.45	4.38	5.50	5.05
Cobre	mg/L	1	3	2.42	2.71	1.20	2.48	0.90	0.76	1.00	0.70
Hierro	mg/L	1	5	0.70	0.69	1.27	1.11	2.27	2.21	2.65	2.77
Aluminio	mg/L	AR*	5	0.07	0.11	0.46	0.79	0.11	0.09	0.24	0.18
Sulfato	mg/L	250	400	17.67	34.33	42.67	49.33	52.33	48.17	67.50	69.17
Nitrito	mg/L	AR*	10	0.04	0.05	0.11	0.10	0.11	0.09	0.24	0.12
Nitrato	mg/L	AR*	10	8.80	12.03	21.27	24.05	21.35	16.19	19.24	24.49
pH	Ph	6.00-9.99	5.00-9.00	7.51	7.49	7.55	7.30	7.05	7.06	6.75	7.03
DBO	mg/L	50	Remoción >80%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DQO	mg/L	150	-	30.33	0.00	48.00	0.67	50.00	67.33	61.17	32.33
Turbiedad	UNT	-	10	40.87	38.67	73.33	74.00	113.50	122.17	246.50	75.79
Conductividad	Mohms	-	-	302.73	347.43	338.57	394.90	283.18	290.03	341.42	295.42

Nota. * AR es equivalente a Análise y Repórtese. Resultados de los datos obtenidos en la caracterización fisicoquímica en tiempo de verano y su comparación según la normatividad vigente.

Los datos se obtuvieron en dos tiempos climáticos diferentes, los cuales tiene relevancia en la afectación sobre los ecosistemas ya que en tiempo de invierno la concentración de los parámetros de lodos es mayor, aunque se percibe en tiempo de verano igualmente un incumplimiento de parámetros a algunos límites máximos permisibles.

La caracterización de los lodos muestra altos valores para los parámetros de manganeso, hierro, nitrato y turbiedad, los cuales están por encima de los valores máximos permisibles establecidos en la resolución 0631 de 2015 y el decreto 1594 de 1984. Los parámetros de manganeso, hierro y turbiedad están directamente relacionados con la actividad fotosintética ya que inhibe la penetración de los rayos solares, perjudicando el manejo y desarrollo del ecosistema.

4.1.2 Propiedad mecánica de la muestra de suelo.

4.1.2.1 Ensayo de humedad natural. Es una propiedad relacionada con el peso del agua que hace parte del suelo y el peso del suelo en su estado natural, expresada en porcentaje, que sirve para conocer el comportamiento del suelo en relación con la humedad que este contenga, ya que esta relación puede alterar ciertas propiedades para diferentes usos. Para los ensayos realizados se obtuvieron los valores relacionados en la tabla 9.

Tabla 9
Relación humedad

Ensayo	$W_1(g)$	$W_2(g)$	$W_c(g)$	$w(\%)$
1	18.90	18.41	17.32	44.95
2	20.02	19.59	18.69	47.77
3	19.39	18.83	17.62	46.28
Promedio de humedad de la muestra				46.33

Nota. Resultados obtenidos en cuanto a la relación de humedad para los suelos según sus pesos.

Los valores obtenidos permiten ver que la composición del suelo proporciona un comportamiento de retención de humedad lo cual puede ser de gran beneficio según su uso.

4.1.2.2 Análisis granulométrico de suelos por tamizado e hidrómetro. Este ensayo permite conocer el balance del porcentaje de grava, limo, arena y arcilla que contiene un suelo, lo cual permite entender su composición y posible uso. Se obtuvo entonces la relación de granulometría por tamizado junto con sus respectivos ajustes. Para el caso específico del suelo tratado, teniendo en cuenta que es un material sin presencia de gravas, se empezó a retener material en el tamiz No. 10 por lo tanto se hizo necesario realizar un análisis de tamaño de

partícula por hidrómetro. El análisis se realizó con 300 g de los cuales se tiene una pérdida de 5.50 g, al final se obtuvieron los resultados de la granulometría total del material. Los resultados para este análisis se encuentran en el apéndice C 2.

Finalmente se obtiene una curva normalizada con una distribución de partículas como se muestra en la figura 15.

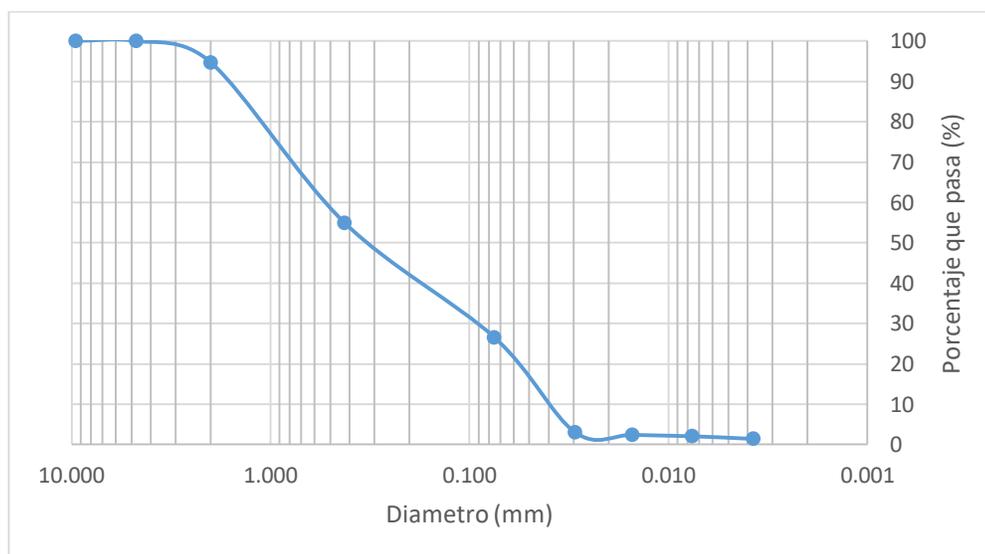


Figura 15. Grafica de curva de granulometría normalizada.

En la gráfica se ubican tres valores donde la curva se normaliza y permite ver el comportamiento de las partículas en cuanto a su diámetro, ya que del tamiz 200 para abajo son arcilla, entre el tamiz 40-200 son arenas y entre el tamiz 10-40 son gravas, Donde podemos ubicar los valores. Estos tres puntos son escogidos debido a que son los puntos intermedios de la curva, mientras que los otros se encuentran fuera del rango, siendo mayores de D_{60} partículas muy grandes y menos de D_{10} partículas muy finas.

$$D_{10} = 0.040$$

$$D_{30} = 0.090$$

$$D_{60} = 0.52$$

A partir de los cuales se calcularon el Coeficiente de Curvatura (C_c) y el Coeficiente de Uniformidad (C_u), que permiten saber la variedad de partículas en el suelo, los cuales se obtienen mediante las siguientes formulas:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}}$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Obteniendo valores de $C_c = 0.4$ y $C_u = 13.0$; que posteriormente se utilizaron para realizar la clasificación del material.

4.1.2.3 Determinación del límite líquido de los suelos. Esta prueba se realizó para conocer el comportamiento del suelo en un estado líquido, donde se le añadió agua al suelo para que adquiriera una composición líquida y permitiera realizar una comparación con valores preestablecidos, indicando el estado del suelo junto con el límite líquido y clasificando el lodo en los sistemas de categorías del suelo (S.U.C.S. y AASHTO).

El límite líquido se determinó mediante tanteos utilizando porciones de muestra esparcida sobre una cazuela de bronce, dividiéndola en dos partes, y generando golpes hasta que por la caída repetida estas partes se unan, como se muestra en la figura 16.



Figura 16. Ensayo de Limites de Plasticidad.

Luego de realizado el ensayo se obtuvieron 3 puntos calculando los datos relacionado en el apéndice C 3. Teniendo en cuenta los datos obtenidos en la prueba se genera la gráfica que relaciona el contenido de humedad vs el No. de golpes, como se evidencia en la figura 17.

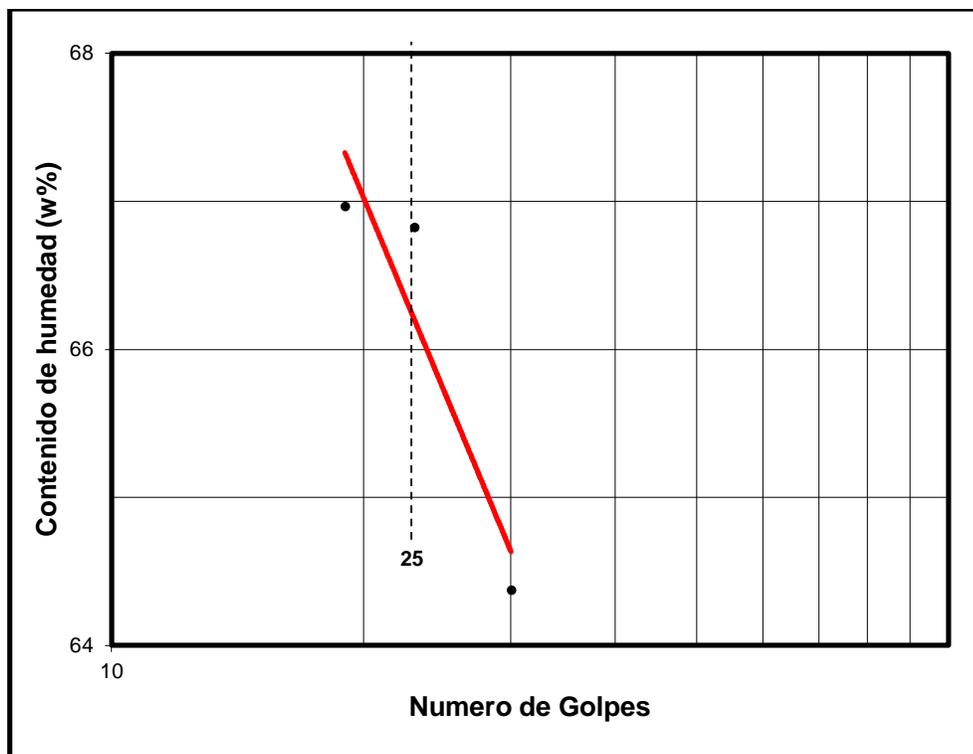


Figura 17. Grafica contenido de humedad Vs número de golpes.

De donde se obtiene un valor de LL (%) =65,71. Lo que indica el S.U.C.S. es que cuando se obtiene un porcentaje > 50 el suelo es de alta plasticidad y < 50 baja plasticidad, con nuestro valor se deduce que nuestro suelo contiene una alta plasticidad.

4.1.2.4 Determinación del límite plástico y el índice de plasticidad. Este ensayo se hizo para entender el comportamiento del suelo con cierto contenido de agua, lo cual sirve para clasificar el lodo en los sistemas de categorías del suelo (S.U.C.S. y AASHTO) y entender cómo puede cambiar su consistencia.

Con el método manual se hizo rodar la masa de suelo entre la palma de la mano y la placa de vidrio formando un rollo el cual se adelgazo hasta que el diámetro alcanzara un valor de 3.2 mm (1/8") como se muestra en la figura 18.



Figura 18. Determinación límite plástico.

Luego de realizado el ensayo se obtuvieron los siguientes datos, calculando 3 puntos los cuales se relacionan en la tabla 10.

Tabla 10

Determinación límite plástico de la muestra

PRUEBA N°	I	II	III
Recipiente N°	1	2	3
Peso del recipiente (g.)	7.22	8.49	7.32
Peso recipiente + suelo húmedo (g.)	8.80	9.82	9.09
Peso recipiente + suelo seco (g.)	8.31	9.39	8.53
Peso del suelo seco (g.)	1.09	0.90	1.21
Peso del agua (g.)	0.49	0.43	0.56
Contenido de humedad (w%)	44.95	47.78	46.28

Nota. Resultados obtenidos en la determinación del límite plástico de la muestra de estudio.

Del ensayo se obtuvo un valor de LP (%) = 46.34 y se obtuvo un IP (%) = 19,37. Los ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad fueron necesarios para conocer el comportamiento del lodo, utilizando el límite de Atterberg, como se evidencia en el apéndice D 1.

4.1.2.5 Determinación de la gravedad específica. Este ensayo se realizó debido a que se utiliza en casi toda ecuación que expresa relación de fase de aire, agua y sólidos en el volumen dado de material. El término sólido, según la ingeniería geotécnica, hace relación a las partículas minerales de forma natural y que no son solubles en agua; por ende, la gravedad específica está relacionada con la densidad de las partículas sólidas del suelo y la densidad del agua, permitiendo ver la composición del material.

Los valores obtenidos en este ensayo fueron utilizados como complemento de los cálculos en el ensayo de Hidrómetro. Se puede evidenciar los resultados en la tabla 11.

Tabla 11
Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos

PRUEBA N°	1	2	3
Peso del Picnómetro [W] (g)	152.9	150.0	153.2
Peso suelo seco horno [Wo] (g)	51.75	51.82	51.17
Peso Picnómetro + agua + suelo [W1] (g)	695.02	696.67	689.32
Peso picnómetro + agua [W2] (g)	662.80	664.60	657.30
Volumen picnómetro [V] (cm³)	500.0	500.0	500.0
Temperatura agua en el ensayo (T °C)	24°C	24°C	24°C
Factor de corrección de temperatura [K]	0.9991	0.9991	0.9991
Gravedad específica [Ss]	2.647	2.621	2.670
Gravedad específica promedio (Ss prom.)	2.646		

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos en la determinación de la gravedad específica de las partículas del lodo.

4.1.2.6 Clasificación del material de estudio. Teniendo en cuenta los datos adquiridos durante la realización de los ensayos se define que:

El suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos S.U.C.S. se clasifica como una arena limosa de alta plasticidad (SM), con una gravedad específica de $SS=2.645$, un Límite Líquido de 65.71%; un Límite Plástico de 46.34% y un Índice de Plasticidad de 19.37. ; Donde según la clasificación es un material de compresibilidad de baja a media, con una capacidad de carga entre alta y media, además indica un suelo permeable a semi permeable basados en las propiedades definidas por Badillo (2001)

Si se verifican los datos según el sistema de clasificación de la AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials) y se clasifica como A-2-7(0) esto teniendo en cuenta el porcentaje que pasa por el tamiz No.10=94.71%; No. 40=54.98% y No. 200=26,58% y adicionalmente teniendo en cuenta los límites de consistencia.

4.2 Identificación de alternativas

Una vez realizada la revisión bibliográfica y caracterización se inició con la segunda etapa del proyecto para evaluar alternativas a los lodos generados en el proceso de potabilización y de esta forma identificar la estrategia de solución más pertinente para el proyecto. Según los análisis de laboratorio realizados se identificó el lodo con potencial para ser utilizado en alternativas agrícolas y en materiales alternativos de construcción, ya que tiene una adecuada retención de humedad, se compone de partículas finas y presenta una plasticidad favorable para estos fines.

4.2.1 Acondicionador de suelo. Una vez deshidratado el lodo se hicieron análisis microbiológico y fisicoquímico, en comparación con lo exigido por la norma técnica colombiana NTC 5167 de 2004, la cual especifica los parámetros para la industria agrícola en Colombia, fue realizado por el laboratorio de suelos Terrallanos. En los resultados entregados se observa que los porcentajes de los componentes se encuentran dentro del rango exigido por la norma. En la tabla 12 se realiza una comparación de los datos obtenidos en el laboratorio con lo dictado en la norma NTC 5167 de 2004.

Una vez caracterizado el lodo y analizado sus resultados, se deduce que tiene buenas propiedades fisicoquímicas, siendo este un suelo medianamente ácido y rico en materia orgánica, que está relacionado con la concentración de nutrientes y capacidad de intercambio catiónico. La composición de los macronutrientes (N, P, K, C, S, Ca, Mg) y micronutrientes (Zn, Na, Fe, Cu, Mn, Cu, B) es la adecuada para un agregado en suelo agrícola.

La capacidad de intercambio catiónico es alta lo cual sirve para controlar las elevadas concentraciones de metales tóxicos para los cultivos, como el aluminio y cadmio, ayudando a capturar o mantener cationes.

Con la caracterización de los lodos del tanque de sedimentación se determinó que pueden ser utilizado en la agricultura, jardines, viveros y suelos degradados. Los lodos son ricos en nutrientes, arcilla y contiene buena materia orgánica, convirtiéndolo en un excelente acondicionador de suelo.

La concentración de metales pesados como el aluminio, boro y sodio son bajas, por lo tanto, no tendría efecto significativo al momento de este ser aplicado.

Tabla 12
Análisis fisicoquímico para alternativa de lodos

Parámetro	Expresado como	Unidades	Resultado	NTC 5167/2004	Decreto 1287/20114	
					Categoría A	Categoría B
Nitrógeno	N	%	0.21	Reportar	-	-
Carbono	C	%	2.44	Reportar	-	-
Relación Carbono/Nitrógeno	C/N	%	11.62	Reportar	-	-
Fosforo	P	ppm	69.7	Reportar	-	-
Potasio	K	meq/100 g	0.38	Reportar	-	-
Calcio	Ca	meq/100 g	5.4	Reportar	-	-
Magnesio	Mg	meq/100 g	2	Reportar	-	-
Sodio	Na	meq/100 g	0.17	Reportar	-	-
Hierro	Fe	ppm	288.75	Reportar	-	-
Cobre	Cu	ppm	2.75	Reportar	1,000	1,750
Manganeso	Mn	ppm	179.37	Reportar	-	-
Zinc	Zn	ppm	1	Reportar	2,000	2,800
Boro	B	ppm	0.2	Reportar	-	-
Azufre	S	ppm	56.24	Reportar	-	-
Aluminio	Al	meq/100 g	0.4	Reportar	-	-
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	meq/100 g	23.5	≥30	-	-
Potencial de hidrogeno	pH	-	5.6	>5	-	-
Materia Orgánica	M.O.	%	4.2	-	-	-
Salmonella	-	UFC	0	Ausente	Ausente	<1.00
Mesofilos Aerobios	-	UFC	6	-	-	-
Hongos y Levaduras	-	UFC	94	-	-	-
Coliformes	-	UFC	3	<1000	<1000	<2000

Nota. Los resultados presentes son una comparación del análisis de suelo realizado y su relación a las normas colombianas en cuanto sus valores máximos permisibles.

La germinación de las semillas se presentó a los cuatro días después de la siembra en cada una de las huertas, sin embargo, el mayor porcentaje se evidenció en la huerta de solo lodo, con una germinación del 93,33 % en el rábano y con el 80% de pepino, mientras que en las demás huertas el porcentaje fue intermedio; por otra parte, en la huerta de solo lodo se presentó un mayor contenido de humedad en el suelo, lo que facilito la germinación de las mismas.

Las hojas primarias brotaron, en todas las huertas, a los 6 días después de la siembra de las especies. El mayor número de hojas durante el periodo de estudio de la especie *Cucumis sativus* se observó en la huerta de solo lodo y bovinaza, con un número de 5 hojas, y la especie *Raphanus sativus* en la huerta de solo lodo con un número de 11 hojas, mientras que en las demás huertas se presentó un número de hojas intermedio.

La mayor longitud de las especies se alcanzó en la huerta de bovinaza para la especie *Cucumis sativus* con un valor de 14.55 cm y en la huerta de bovinaza-lodo para la especie *Raphanus sativus* con un valor de 10.68 cm, otra huerta que se encuentra relacionada con estas longitudes es la de solo lodo.

El área foliar evidenció un incremento en las distintas huertas, observándose una mayor área foliar en la huerta de bovinaza para la especie *Cucumis sativus* y en la huerta de bovinaza-lodo en para la especie de *Raphanus sativus*, como se evidencia en la tabla 13.

Tabla 13
Crecimiento de los cultivos en las diferentes mezclas

Acondicionador		<i>Cucumis sativus</i>				<i>Raphanus Sativus</i>			
		Ninguna	Bovinaza	Bovinaza-Lodo	Lodo	Ninguna	Bovinaza	Bovinaza-Lodo	Lodo
Primera medición	Longitud de planta	2.5	5.25	2.05	4.35	2.13	3	3.34	3.14
	Área Foliar (cm ²)	5.5	6.5	5.7	7.88	3.25	4.72	5.58	5.54
	Numero de hojas	2	2	2	2	2	2	2	2
Segunda medición	Longitud de planta	4.05	8.75	4.75	8.88	3.73	4.95	6.41	6.64
	Área Foliar (cm ²)	5.75	10	6	9.4	4.18	8.2	10.92	9.6
	Numero de hojas	3	4	4	4	3	3	3	3
Tercera medición	% germinación	40	40	40	80	80	86.67	80	93.33
	Longitud de planta	6.1	14.55	7.15	10.57	4.05	8.44	10.68	9.74
	Área Foliar (cm ²)	9.75	19.4	14.8	16.8	5.75	16.1	20.23	18.98
	Numero de hojas	3	5	4	5	4	7	9	11

Nota. La tabla muestra el crecimiento de los cultivos en las diferentes concentraciones.

El lodo se puede implementar como acondicionador o cosustrato en la elaboración del abono, dependiendo del estudio de suelo del terreno al que se aplicaría. El lodo tiene, en su composición química, una similitud con ciertos elementos que componen el acondicionador industrial certificado por el ICA (aunque no en su misma concentración), por lo que se podría implementar directamente al suelo supliendo un fragmento de su función. Como se puede notar en la tabla 14 la concentración en porcentaje del lodo con respecto a los elementos que componen los diferentes acondicionadores utilizadas en la agricultura, el lodo no podría ser utilizado en temas de producción, pero si para mejoramiento del suelo y en proyectos de

restauración ya que este permitiría mejorar la plasticidad del suelo, su capacidad de retener agua y ciertos minerales requeridos por especies pioneras.

Tabla 14

Comparación de la composición química del lodo y de acondicionadores certificados por el ICA

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado de lodo	Nutrimon 19-4-18-3 (monómeros)	Nutrimon 17-6-18-2 (monómeros)	Nutrimon 28-4-0-6 (monómeros)	Cal dolomítica (INFERHUILA)
Nitrógeno	N	%	0.21000	19	17	28	
Nitrógeno Amoniacal	N	%	-	10.1	10.4	18	
Nitrógeno Nítrico	N	%	-	8.9	6.6	10	
Fosforo	P	%	0.00697	4	6	4	
Potasio	K	%	0.01486	18	18		
Calcio	Ca	%	0.21114				30
Magnesio	Mg	%	0.07820	3	2		15
Zinc	Zn	%	0.00010	0.1	0.1		
Boro	B	%	0.00002	0.1	0.2		
Azufre	S	%	0.00562	2	2	6	

Nota. La tabla muestra las comparaciones entre la composición química de lodo y de acondicionadores certificados por el ICA.

Dado a las condiciones atmosféricas y el terreno se vieron afectaciones sobre los cultivos. En la mayoría de las plantas se vio una afectación por gusano soldado y hormigas (*atta*) las cuales comieron parte de las hojas e inhabilitaron la planta para una obtención adecuada de sol, asimismo, el tiempo climático no fue el adecuado, debido a los cambios abruptos de temperatura, falta de sol y mucha humedad se generó un hongo *Phytophthora capsici*.

Tabla 15
Taxonomía del gusano soldado y hormiga (plagas) encontrado en el bioensayo

Orden	<i>Lepidoptera</i>	
Familia	<i>Noctuidae</i>	
Nombre científico	<i>Spodoptera exigua</i>	
Nombre común	Gusano soldado	
Tamaño	30 a 40 mm	
Especies afectadas	Cultivos herbáceos (tomate, pimiento, melón, algodón, etc.) y especies ornamentales	
Síntomas	Defoliación al morder las hojas Ataques sobre las estructuras reproductivas Perforación del cultivo	
Ciclo fenológico	Es una polilla anodina y pequeña, que se esconde durante el día y solo es activa durante la noche. Los adultos aparecen en primavera, se aparean y las hembras depositan los huevos agrupados preferentemente sobre el envés de las hojas.	
	Tamaño	<i>Hymenoptera</i>
	Familia	<i>Formicidae</i>
	Nombre científico	<i>Atta cephalotes</i>
	Nombre común	Hormiga arriera roja o hormiga cortadora de hojas
	Tamaño	Hembra: 22 mm, macho: 18 mm, obreras: de 2 a 14 mm
	Especies afectadas	Cultivos agrícolas
	Síntomas	Defoliación de la hoja Perforaciones en la lámina foliar Las hormigas arrieras se alimentan de un hongo que cultivan en cámaras de almacenamiento dentro del hormiguero y de las partes de las plantas.
Ciclo fenológico		

Nota. La taxonomía permite describir la plaga encontrada en el bioensayo que tuvo una afectación sobre el cultivo. Fuente: (Instituto Colombiano Agrícola, 2012) (Bermejo, 2011).

La presencia de las plagas mencionadas en la tabla 15 presentaron afectación sobre el bioensayo, causando perforación en la mayoría de hojas alterando su estructura, esto pudo presentar alguna alteración sobre su actividad fotosintética y por ende su desarrollo final como se

evidencia en la figura 19. Es válido decir que el bioensayo se desarrolló de la mejor forma y que la plaga tuvo una afectación sobre todo el ensayo no presentado favor o desventaja sobre una sola parcela.



Figura 19. Afectación foliar del rábano por las plagas previamente mencionadas.

4.2.2 Elaboración del ladrillo artesanal

La textura del suelo está compuesta por diferentes diámetros de partículas como la arena, limo, arcilla con su porcentaje representativo. Esta representa la facilidad que muestra el suelo para ser trabajado, drenaje y retención de agua y aire (FAO, 2018).

4.2.2.1 Análisis fisicomecánicos de los especímenes (ladrillos). Una vez sedimentados los suelos, se midieron las alturas para determinar el porcentaje de arenas, limos y arcillas, ya que estos son los materiales implementados como materia prima en la fabricación del ladrillo artesanal. Los cálculos de la prueba de sedimentación se representan en la figura 20.

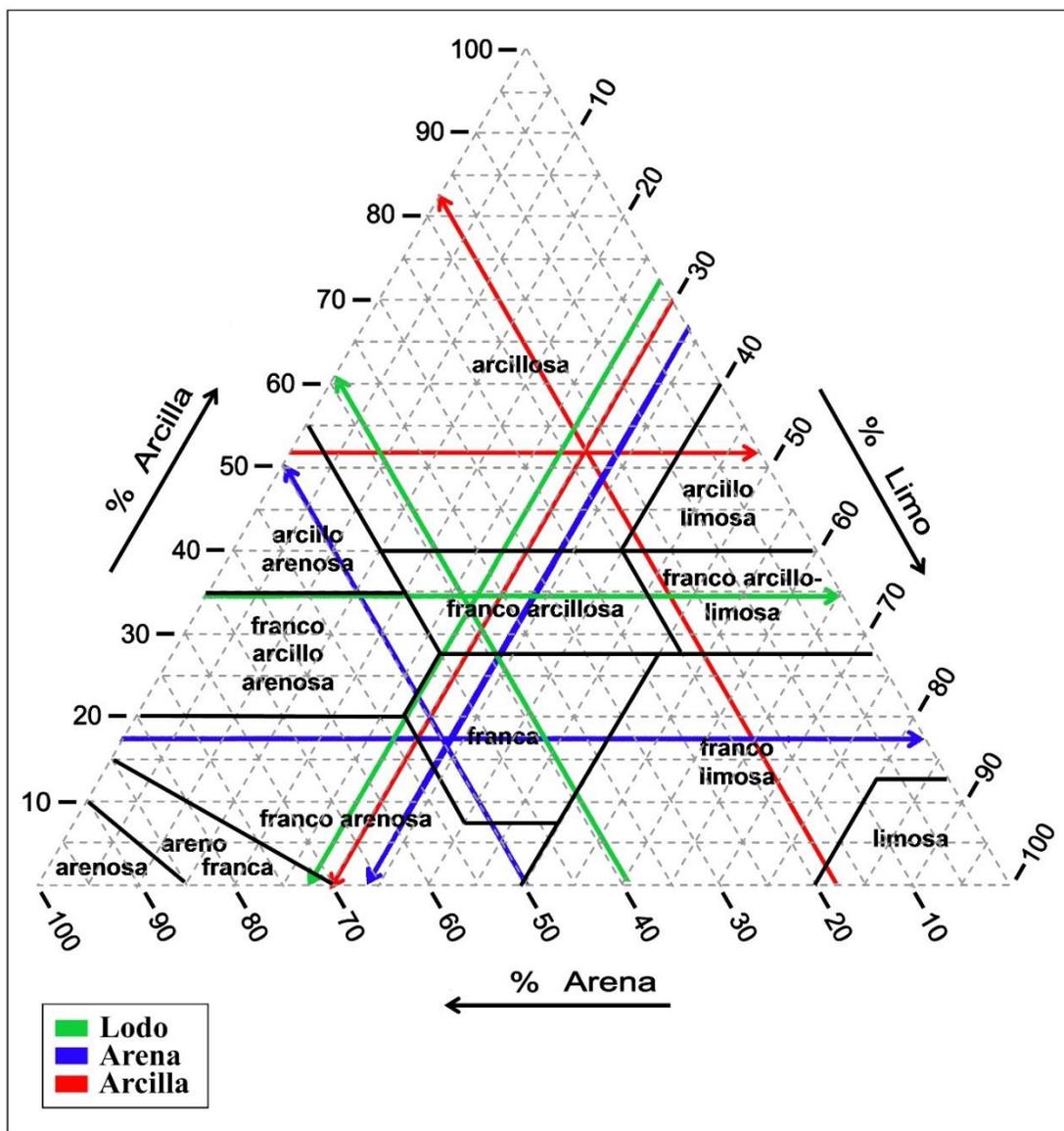


Figura 20. Triángulo de textura del suelo para los diferentes suelos utilizados en la elaboración de ladrillo artesanal.

Dado estos porcentajes obtuvimos de acuerdo al triángulo de textura del suelo: Arcilla) un suelo arcilloso, Arena) un suelo franco y Lodo) un suelo franco-arcilloso. Este análisis junto con el realizado en el laboratorio de suelos para el lodo, ayudo en la decisión de que material sería remplazado, en el proceso, por el lodo. La composición del lodo era similar a la de la arcilla

utilizada en la elaboración del ladrillo, por esta razón se decidió sustituir diferentes porcentajes de lodo por arcilla.

Los ladrillos se elaboraron en el chircal de la pradera con coordenadas (8.223289, -73.365444) 8°13'23.8"N 73°21'55.6"O.

La mezcla de los especímenes se elaboró según el método simplex, para su dosificación. Teniendo en cuenta el método empírico utilizado por el fabricante de ladrillos cerámicos del chircal la pradera ubicado en el municipio de Ocaña Norte de Santander, se dispuso la elaboración de seis especímenes que utilizan una proporción de 50% material arcilloso y 50% material arenoso conocido en la región como escobalina, esto con el fin de generar unos especímenes que serán utilizados como valor inicial para posteriormente comparar con las dosificaciones propuestas y determinar si existe una mejora al momento de adicionar el material alternativo.

Se plantearon cinco mezclas, donde se sustituyó el valor en peso de la cantidad de arcilla por lodo en 15%, 25%; 35%, 40% y 45%; manteniendo un valor del 50% en arena; en la tabla 16, se relacionan las diferentes dosificaciones y proporciones en peso y en porcentaje que fueron utilizadas:

Tabla 16
Dosificaciones mezclas propuestas con material alternativo

ARCILLA (g)	ARENA (g)	LODO (g)	ARCILLA	ARENA	LODO	ESPECÍMENES
9900	9900	0	50%	50%	0%	3
3465	4950	1485	35%	50%	15%	3
2475	4950	2475	25%	50%	25%	3
1485	4950	3465	15%	50%	35%	3
990	4950	3960	10%	50%	40%	3
495	4950	4455	5%	50%	45%	3

Nota. En la tabla se muestran las diferentes dosificaciones en peso y porcentaje utilizados en la elaboración del ladrillo.

Con el fin de optimizar los datos obtenidos, teniendo en cuenta las mezclas realizadas con las diferentes dosificaciones se aplicó el método simplex, considerando una variable adicional que involucra la caracterización mecánica de los especímenes teniendo en cuenta su resistencia a la compresión y de esta forma evaluar cuál es la mezcla con el mejor comportamiento.

El moldeado fue la adición de agua a la mezcla para que fuera amasada hasta que obtuviera una textura pegajosa y barrosa, esta masa se introdujo en un molde rectangular de madera con cinco divisiones donde se generan los especímenes por medio de un fraguado, generando prismas rectangulares. Por cuestión de veracidad solo se elaboraron tres especímenes por dosificación para realizar ensayos por triplicado.

Una vez retirado el molde los especímenes se dejan secar al sol por una semana o hasta que se tengan suficientes para llenar el horno, cuando se tiene la cantidad adecuada se cocinan por 15 días.

4.2.2.1.1 *Análisis del ensayo de flexión.* Para el cálculo de la carga de rotura a flexión se tiene en cuenta la carga máxima indicada por la máquina del ensayo en N (Newton) y el área transversal efectiva (mm^2), los datos obtenidos se relacionan en el apéndice C 5.

En la figura 21 se muestra la gráfica de variación del esfuerzo real a flexión de los especímenes ensayados, donde se identifica que para el espécimen con el 15% de lodo agregado, se obtiene el mejor comportamiento a flexión con un valor de 2.99 Mpa; seguido del espécimen con el 25% de lodo con 1.95 Mpa.

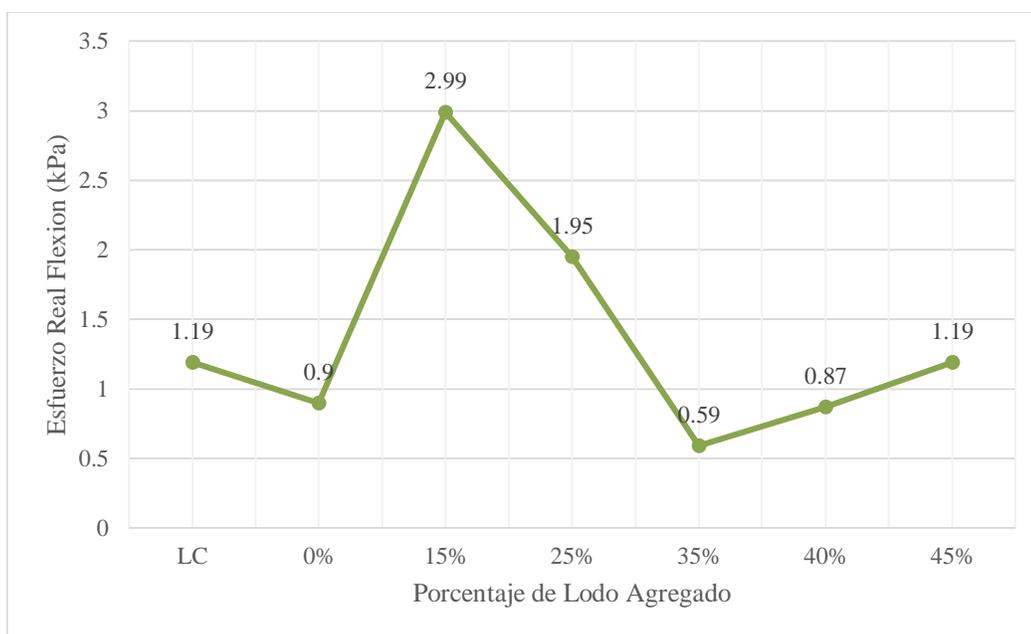


Figura 21. Gráfica de relación esfuerzo real flexión vs. espécimen.

4.2.2.1.2 *Resistencia a la compresión.* Inicialmente fue necesario establecer las dimensiones y peso de cada uno de los especímenes como se relacionan en el apéndice C 6.

El ensayo arrojó los datos relacionados en el apéndice previamente mencionado, adicionalmente en la figura 22 se muestra el espécimen después de la aplicación de la carga.



Figura 22. Especimen después de la aplicación de la carga a compresión.

Con respecto a los datos de resistencia a la compresión se detecta un crecimiento desde el espécimen comercial con respecto a los especímenes fabricados con el material alternativo, la figura 23 muestra el comportamiento de los datos.

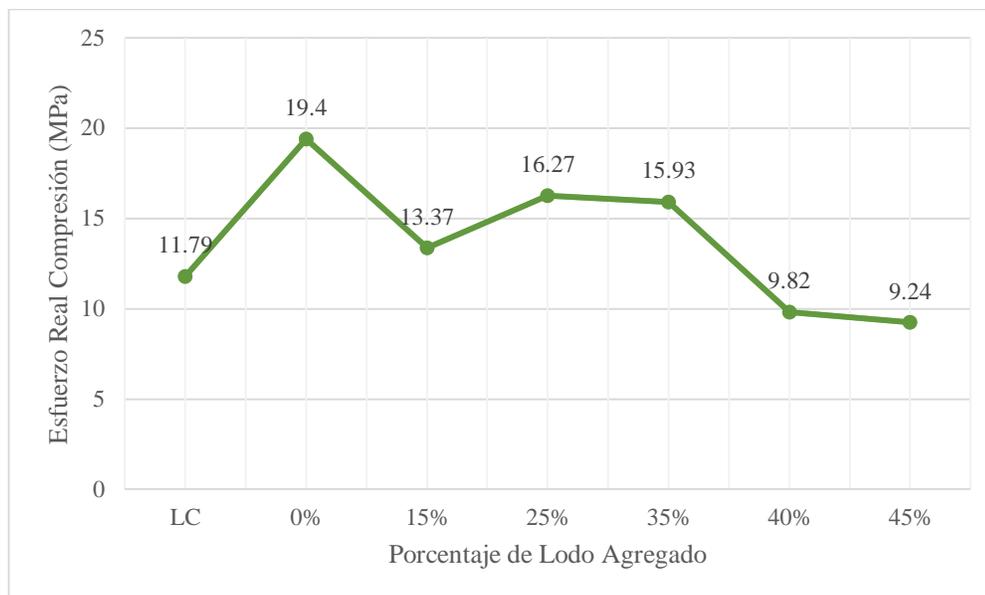


Figura 23. Grafica de relación resistencia a la compresión vs espécimen.

Con respecto a la compresión el mejor comportamiento lo presenta los especímenes con 25% y 35% de lodo agregado, con valores de 16.27 MPa y 15.93 MPa respectivamente.

4.2.2.1.3 *Análisis del ensayo de absorción.* En la tabla 17 se realiza la relación del porcentaje de absorción para cada uno de los especímenes con su porcentaje de mezcla.

Tabla 17
Relación ensayo de absorción

Especimen			Ws(g)	Wsss (g)	% Absorción
Arcilla	Arena	Lodo			
50%	50%	0%	680	790	16.18
35%	50%	15%	1225	1430	16.74
25%	50%	25%	950	1120	17.89
15%	50%	35%	1370	1620	18.25
10%	50%	40%	835	1015	21.56
5%	50%	45%	610	750	22.95
Especimen Comercial			1545	1810	17.15

Nota. Se establecen los valores de absorción obtenidos del ensayo de cada uno de los especímenes.

La prueba de absorción de agua en ladrillos se realiza para determinar la propiedad de la durabilidad de los ladrillos, como el grado de quema, la calidad y el comportamiento de los ladrillos en la intemperie. El grado de compactación de los ladrillos se puede obtener mediante la prueba de absorción de agua, ya que el agua es absorbida por los poros de los ladrillos. La absorción de agua por ladrillos aumenta con el aumento de los poros. Por lo tanto, la porosidad y la absorción son directamente proporcionales. La figura 24 permite ver el comportamiento de la porosidad según el porcentaje de lodo en la mezcla indicando que el lodo en su cocción permite mayor porosidad.

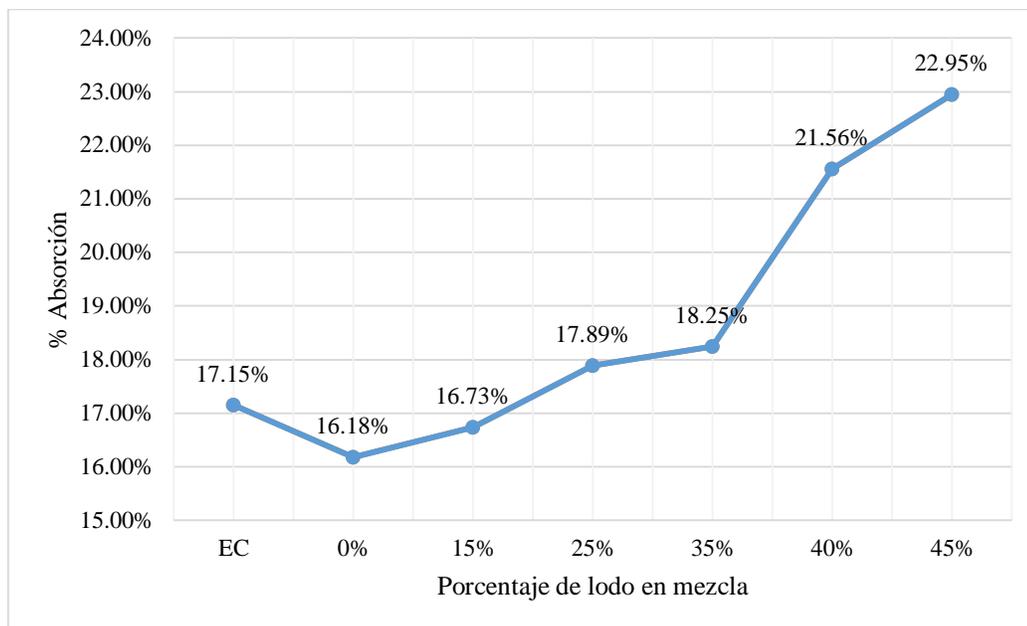


Figura 24. Grafica porcentaje de absorción vs espécimen.

4.2.2.1.4 *Análisis de Datos de Ensayos de laboratorio.* Inicialmente fue necesario clasificar el tipo de espécimen, según la NTC 4205-02 donde se definen tres tipos básicos de unidades de mampostería no estructural de arcilla cocida esto según la disposición de sus perforaciones y el volumen que estas ocupan, perforación horizontal (PH), perforación vertical (PV) y macizas (M).

Para el caso particular de los especímenes fabricados con lodo se determinó que estos eran de tipo macizo (M) teniendo en cuenta que son unidades sin perforaciones, adicionalmente se identificó que es espécimen es de tipo ladrillo común esto teniendo en cuenta el tipo de servicio que ofrecerá el cual comúnmente incluye la construcción de muros divisorios y de cierre no estructurales.

Con respecto a las propiedades físicas, se evaluó la absorción de agua y la resistencia mecánica a la compresión teniendo en cuenta lo descrito en la tabla 18.

Tabla 18

Propiedades físicas de las unidades de mampostería (UM) no estructural

Tipo	Resistencia mínima a la compresión		Absorción de agua máxima en %	
	MPa (Kg.f / cm ²)		Interior	
	Promedio 5 UM	UM	Promedio 5 UM	UM
PH	3.0 (30)	2.0 (20)	17	20
PV	14.0 (140)	10.0 (100)	17	20
M	14.0 (140)	10.0 (100)	17	20
Unidades Livianas PH	2.0 (20)	1.5 (15)	17	20

Nota. Estándares aceptables de las propiedades físicas para los diferentes tipos de ladrillos. Fuente. NTC 4502-02.

Se determina entonces que la resistencia a la compresión mínima debe ser de 10 MPa y la absorción máxima de agua debe ser del 20%.

En total se realizaron tres ensayos a los especímenes fabricados, en la figura 25 se relacionan los resultados generales, los cuales se consideraron como unidades de mampostería no estructural esto a razón de realizar la verificación de los datos obtenidos con referencia en la NTC 4205-02, de igual forma muestran los límites y la condición mínima para los ensayos realizados.

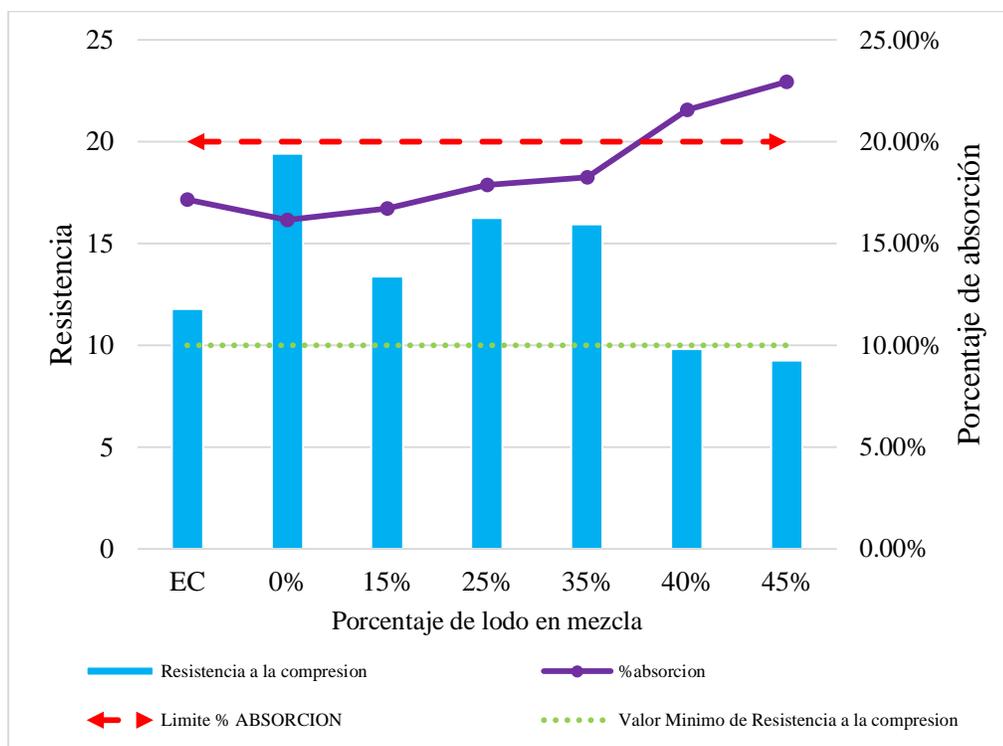


Figura 25. Grafica ensayos realizados a los especímenes.

Para el ensayo de absorción solo 3 de las 5 mezclas planteadas cumplen con el parámetro de ser inferior al 20%, este es el caso específico del 15%, 25% y 35% de adición de lodo, para el caso de la resistencia a la compresión de igual forma los especímenes que cumplen con la condición de ser mayor a 10 MPa son los de 15%, 25% y 35%.

Teniendo en cuenta el análisis realizados a las diferentes mezclas, se recomienda utilizar el ladrillo con 25% de lodo agregado, esto teniendo que es el espécimen que presenta mejor comportamiento a compresión, de las tres mezclas, con un valor de 16.27 MPa superando lo requerido por la NTC-4205 (10 MPa) y además se encuentra dentro del rango del porcentaje de absorción con un 17.89%, adicionalmente es de considerarse que presenta una resistencia a la flexión de 1.95 kPa.

Con lo referente al espécimen comercial (EC) se puede identificar un mejoramiento sustancial, tanto en la resistencia a la compresión como en la resistencia a la flexión, en la figura 26 se muestra las variaciones en la resistencia a la compresión con respecto a la inicial que correspondía a un valor de 11.79 MPa se logró alcanzar un 38% de aumento en la resistencia del espécimen para la mezcla con 25% agregado de lodo llegando a una resistencia de 16.27 MPa.

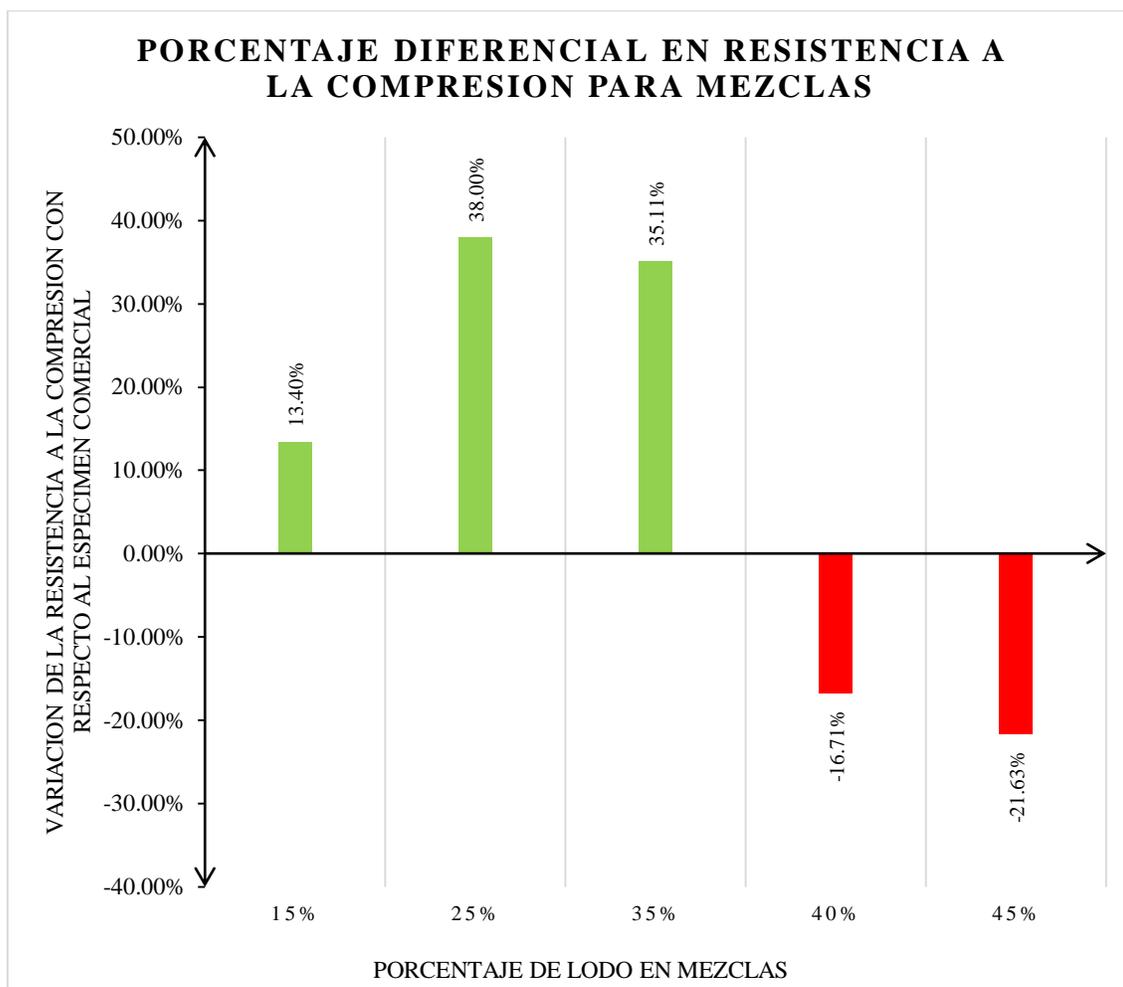


Figura 26. Grafica aumento y disminución de resistencia a la compresión referencia ladrillos comerciales.

4.2.2.2 Relación costo beneficio alternativa de ladrillo macizo con material alternativo.

Para el caso específico de la producción de ladrillos macizos con material alternativo se evaluarán las dos etapas principales de la metodología las cuales se describen a continuación:

Fase 1

El producto que se desea estudiar son ladrillos macizos con la adición de material alternativo (lodo); los cuales se ofertaran como unidades de mampostería no estructural, para el caso de estudio en particular los ladrillos se comercializaran en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander donde según García, Arévalo y Medina (2012) “se encuentran alrededor de 16 chircales que producen aproximadamente 352.000 ladrillos/mes” (p. 14)

Dicho lo anterior se establece un mercado propicio para la comercialización de las unidades de mampostería, de esta forma es importante definir los principales objetivos socio-económicos del proyecto:

- Aumentar la calidad de las unidades de mamposterías producidas.
- Promover la eficiencia en la producción de unidades de mampostería
- Impulsar iniciativas que favorezcan el uso de materiales alternativos.
- Apoyar a los microempresarios de la región en el desarrollo de sus productos.
- Disminución de la contaminación hídrica.
- Mitigación de la explotación de canteras.

Establecidos los objetivos socioeconómicos se considera relevante el estudio de la relación costo beneficio del proyecto considerando que este tendrá impacto y beneficios en múltiples áreas que, como el sector de la construcción, la economía de región, y el medio ambiente.

Fase 2

Para la producción de las unidades de mampostería se hace necesario considerar la distribución de gastos e ingresos, tanto de las unidades tradicionales como de las unidades con material alternativo en la tabla 19 se relacionan los costos para la producción de un ladrillo macizo con los materiales tradicionales y en la tabla 20 se relacionan los costos para la producción de un ladrillo con material alternativo.

Tabla 19
Relación costos para la producción de ladrillo macizo

	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo mes
Carbón	12	toneladas	\$ 350,000.00	\$ 1,050,000.00
Agua	5.101	m ³	\$ 1,179.00	\$ 18,042.24
Arcilla	16.8	m ³	\$ 42,857.00	\$ 719,997.60
Arena	16.8	m ³	\$ 21,429.00	\$ 360,007.20
Mano de Obra	2	SMMLV	\$ 828,116.00	\$ 1,656,232.00
Costo total por mes				\$ 3,804,279.04

Nota. En la tabla se muestra el costo de un ladrillo macizo comercial.

De esta forma se determina que según los materiales utilizados el costo total mensual para producir 17, 400 unidades (dato obtenido del propietario del chircal) es de tres millones ochocientos cuatro mil doscientos setenta y nueve pesos (\$ 3, 804,279.04), lo cual indicaría que a

su vez que cada unidad tiene un costo de material y mano de obra valorado en doscientos diecinueve pesos (\$219.00).

Tabla 20

Relación costos para la producción de ladrillos macizos con material alternativo

	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo mes
Carbón	12.00	toneladas	\$ 350,000.00	\$ 1,050,000.00
Agua	5.10	m ³	\$ 1,179.00	\$ 18,042.24
Lodo (trasporte)	8.40	m ³ /mes	\$ 60,000.00	\$ 60,000.00
Arcilla	8.40	m ³ /mes	\$ 42,857.00	\$ 359,998.80
Arena	16.80	m ³ /mes	\$ 21,429.00	\$ 360,007.20
Mano de Obra	2.00	SMMLV	\$ 828,116.00	\$ 1,656,232.00
Costo total por mes				\$ 3,504,280.24

Nota. En la tabla se muestra el costo de producción de un ladrillo macizo con material alternativo.

Según la tabla 20 los costos mensuales para producir 17,400 unidades, es de tres millones quinientos cuatro mil doscientos ochenta pesos (\$ 3, 504,280.24), lo cual indicaría que a su vez cada unidad tiene un costo de material y mano de obra valorado en doscientos un peso (\$201.00).

Si se realiza un análisis comparativo entre el costo de producir un ladrillo tradicional vs un ladrillo con material alternativo se infiere un ahorro de doscientos noventa y nueve mil novecientos noventa y ocho pesos con ochenta centavos (\$ 299,998.80) mensuales en la producción de ladrillos, aportando un valor de ganancia de 17 pesos adicionales por unidad de ladrillo vendido.

Adicional a los ingresos que representará la aplicación de la alternativa se pueden evidenciar algunas externalidades positivas, que beneficiaran tanto a la empresa como a la región, dichas externalidades no son cuantificables entre estas se destacan la disminución de

contaminación hídrica, la mitigación de la explotación de canteras de arcilla y la mitigación de la erosión edáfica adicionalmente el uso de este pasivo ambiental como un material alternativo representa un beneficio para el medio ambiente, para la economía de la empresa de servicios públicos de Ocaña ESPO SA y a futuro representa un ahorro potencial con respecto a la evasión de posibles sanciones que se puedan generar por vertimientos inadecuados o contaminación ambiental.

4.2.3 Aplicación teórica del lodo en cemento.

Cuando el lodo es utilizado como materia prima para cemento, mortero o concreto debe estar libre de microorganismos y de metales pesados, haciéndolo útil en la implementación, ya que una vez tratado y secado no presenta ninguna característica que pueda afectar dicha fabricación (Guzman, Camargo, Alvarez, & Avila, 2012); asimismo, el lodo se puede sustituir parcial o totalmente por la arcilla o arena, ya que la cocción del crudo elaborado con dicho lodo es adecuada (Rodríguez, 2012).

En cuanto una aplicación de lodo de las plantas de tratamiento potable, que permita su disposición sostenible se encuentra su implementación en mezcla de concreto o mortero, reemplazando el cemento o arena. Existe una posibilidad de usar el lodo para producir concreto y mortero según la investigación de Zamora et al (2008). Especímenes cúbicos elaborados con una dosificación de lodo-cemento de 90-10% y de lodo-limo-cemento 90-5-5% dio como resultado una fuerza de compresión de 130-150 kg/cm².

Según el trabajo realizado por Yen et al (2011), se realizó una experimentación intercambiando los materiales principales para la elaboración de cemento, es decir, piedra caliza,

arena, arcilla y escoria de hierro con lodo de mármol, lodo de alcantarillado, lodo de tratamiento de agua potable y lodo del horno de oxígeno básico (BOF por sus siglas en inglés), en la producción de cemento. El estudio encontró que el 39.4% de lodo de mármol, el 10% de lodo de tratamiento de agua potable, el 1.8% de BOF, el 39.4% de piedra caliza y el 9.5% de arena proporcionaron una resistencia a la compresión de 28 días incluso mayor que la de la pasta de control preparada a partir de materia prima convencional (Ahmad, Ahmad, & Alam, 2016). El cemento elaborado con los diferentes porcentajes de residuo tiene todos los componentes principales del cemento Portland ordinario (OPC) y mostró un proceso de hidratación y densificación similar con el tiempo de curado.

4.3 Diseño del sistema de recolección, tratamiento y disposición final

4.3.1 Ecomapa. La aplicación de la herramienta del ecomapa fue fundamental para identificar los procesos donde se genera el residuo denominado lodo y el punto de vertimiento dentro del tratamiento de potabilización, permitiéndonos hacer un inventario rápido de las prácticas o procesos y problemas ambientales. Adicionalmente se pudo determinar la estrategia de recircular y reutilizar el agua que es vertida con los lodos aluminosos a la fuente hídrica el Algodonal, obteniendo de esta forma beneficios económicos y ambientales a la empresa.

En la figura 27 se muestran los números representantes del proceso de potabilización de la planta “El Algodonal” como son: 1) bocatoma, 2) desarenador, 3) casa de bombas, 4) canaleta parshall, 5) coagulación-floculación, 6) sedimentador, 7) filtración y 8) cloración.

Adicionalmente se mencionan los puntos donde se generan lodos y el punto de vertimiento,

como lo muestra la leyenda, los cuales fueron indicadores para determinar la mejor aplicación para su recolección y tratamiento.

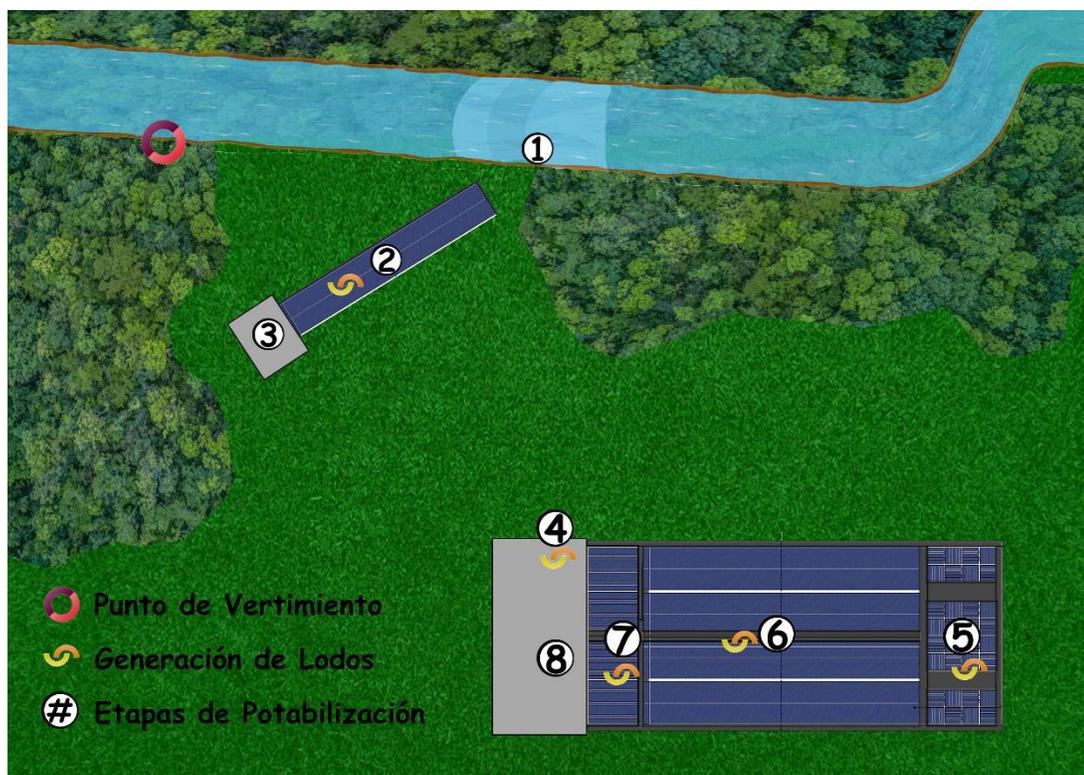


Figura 27. Ecomapa del proceso de potabilización del agua y sus puntos de evaluación.

4.3.2 Cálculo de volumen de lodo. El cálculo de volumen de lodos generados permitió ver la dinámica del lodo según el tiempo climático. En verano se obtuvo un volumen de 171.1645 m^3 para el mes de julio, en invierno se obtuvo un volumen de 222.1738 m^3 para el mes de septiembre y para el mes de octubre de 224.2163 m^3 siendo este mes el de mayor concentración. Una vez obtenido el valor máximo dentro de las fechas estipuladas en el trabajo se tomó como límite máximo para la elaboración del lecho de secado.

Una vez obtenido el volumen se determinó en laboratorio según la metodología, que un volumen de 500 mL de licor mixto generó un peso promedio de 333 g de lodo seco. Según este

cálculo un volumen de licor mixto de 224 m³ generaría aproximadamente 658.45 toneladas de lodo seco por mes en la PTAP.

4.3.3 Prototipo de lecho de secado.

4.3.3.1 Software implementado en el diseño. Por medio de software AutoCAD y Autodesk Revit se elaboraron los planos necesarios para el proyecto de la planta “El Algodonal”. Los planos se realizaron tomando la mayoría de medidas en campo y usando un estudio de la gobernación sobre la planta. Estas mediciones se realizaron de la mejor manera teniendo en cuenta los limitantes presentados en el proyecto.

Fue necesario la elaboración de planos para realizar cálculos de volumen y de dimensionamiento para el lecho de secado, igualmente se utilizaron para la modelación que nos permitió una vista en tres dimensiones de la planta y los lechos de secado dando una mejor idea de posibles puntos críticos y toma de decisiones.

En la figura 28 se muestra la vista en planta del tanque de sedimentación con un corte de sección y respectivas medidas, el cual fue útil para calcular el volumen de los sólidos generados otorgando un dimensionamiento del tanque.

4.3.3.2 Prototipo del lecho de secado. El lecho de secado fue realizado según la normativa anteriormente mencionada, donde se tuvo en cuenta el volumen máximo y material a utilizar, como se evidencia en el la figura 29.

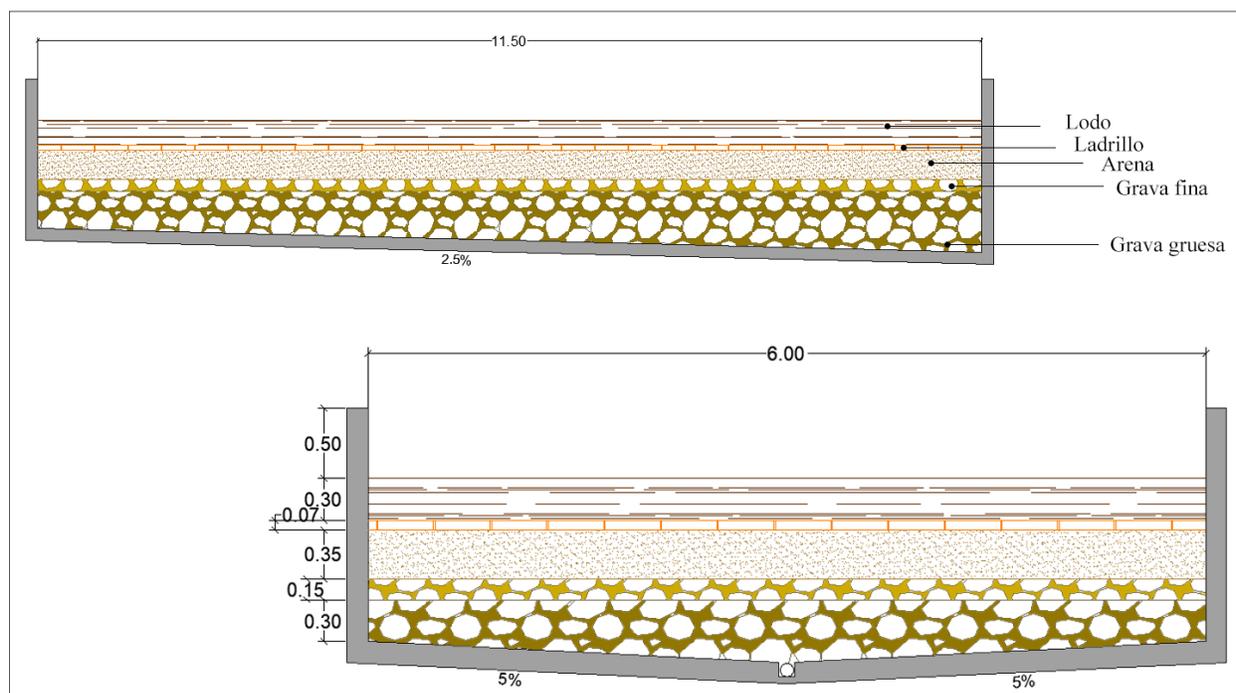


Figura 29. Perfil longitudinal y transversal del lecho de secado.

Las capas percoladoras se le dio una altura y diámetro según la normatividad y estudios realizados a nivel mundial, la capa de grava gruesa tiene un diámetro de 13-25 mm, la capa de grava fina tiene un diámetro de 3-13 mm y la capa de arena tiene un diámetro 0.3-.075 mm. La capa de ladrillo no está estipulada en la norma, pero si en investigaciones realizadas ya que facilitaría en el tiempo de remover el lodo del lecho de secado.

Partiendo del volumen máximo obtenido se redujo el lodo producido en el tanque de sedimentación un 73%, ya que este porcentaje es agua; tomando el 27% restante como lodo, fue necesario implementar 6 lechos de secado con una capacidad de 20.7 m³ cada uno, esta cantidad

de lechos permitirá que uno sea sacado de funcionamiento para mantenimiento o en caso de emergencias. A los lechos de secado se les añadió una rampa de acceso para facilitar el mantenimiento del lecho y extracción del lodo.

Se planteó incorporar una motobomba para evacuar el agua del tanque sedimentador hacia los filtros como estrategia para disminuir la cantidad de agua desperdiciada en la limpieza del tanque y de esta manera aprovecharla parcialmente en el proceso. La tubería de entrada y de salida tiene un diámetro de 4 pulgadas y permitiría evacuar 450 m^3 de agua dentro de un tiempo de 3 h con un caudal de 150 m^3 dejando un licor mixto para ser evacuado por la bomba de lodos.

Para la evacuación del lodo se planteó una motobomba de licor mixto, con una tubería de entrada y salida de 4 pulgadas de diámetro y un caudal de $0.031 \text{ m}^3/\text{s}$, esta se añade a la tubería de purga ya existente en cada tanque de sedimentación reduciendo los costos de construcción y maximizando la utilidad del sistema. El licor mixto se evacuaría dentro de un periodo de 2 horas, cumpliendo con el tiempo de limpieza estipulado por el RAS para un tanque de sedimentación (3 h de la evacuación del agua y 2 h de la evacuación del lodo) en el título C, indicando que el tiempo de vaciado debe ser de máximo 6 h.

Se realizaron los planos encontrados en el apéndice E, para poder realizar un diseño veras de la planta con su respectivo lecho de secado, como se evidencia en el plano del apéndice F.

Capítulo 5. Conclusiones

Los valores obtenidos de la caracterización del lodo varían de acuerdo al régimen pluvial de Ocaña, ya que, son dependiente al periodo de lluvia y sequía, lo que indica cambios en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, presentándose mayor alteración en el periodo de lluvia. Los parámetros analizados mostraron alteración en relación con la resolución 0631 de 2015 y decreto 1594 de 1984, lo que indica que se presenta afectaciones en la fuente hídrica “Algodonal”, provocando de esta forma cambios en el ecosistema acuático.

Se logró implementar el lodo en alternativas de ladrillo y acondicionador de suelo en comparación con la respectiva norma, sustituyéndolo en las diferentes mezclas implementadas, gracias a la caracterización mecánica, fisicoquímica y microbiológica. Tras la implementación se generó un potencial de aprovechamiento, otorgando una alternativa a las prácticas actuales en el municipio. Dada la investigación se concluye que el lodo generado en el tanque de sedimentación de la PTAP “El Algodonal” se puede incorporar en la actividad agrícola como acondicionador y en la restauración paisajística ya que mejora las condiciones del suelo como su capacidad de intercambio catiónico, retención de humedad, plasticidad y minerales necesarios en un suelo. Igualmente se puede incorporar en la fabricación de ladrillo ya que los resultados de los ensayos respectivos, según la normatividad, evidenciaron un mejor rendimiento del ladrillo con lodo sustituido en la mezcla de arcilla en comparación con un ladrillo comercial artesanal. Tras la investigación, la composición del lodo se identificó como un suelo areno limoso de alta plasticidad lo que indica teóricamente que se puede implementar en la elaboración de cemento, ya que dentro de las fórmulas utilizadas en la construcción para diferentes cementos es necesario la arena o arcilla, siendo el lodo un sustituto adecuado.

Tras la investigación y los cálculos de lodo realizado, se planteó un diseño para el sistema de tratamiento y extracción de los lodos producto de las operaciones del tratamiento de agua potable en la PTAP “El Algodonal”. Se planteó un lecho de secado para la deshidratación del lodo, debido a su bajo costo y poco mantenimiento requerido. Al ser implementada dicha inversión podría verse recompensada a largo plazo tras evitar posibles pagos a la autoridad ambiental por vertimientos de los lodos en el río Algodonal, tal como lo indica el decreto 3930 de 2010.

Capítulo 6. Recomendaciones

Dar a conocer el presente proyecto a las diferentes plantas potabilizadoras de agua y de esta forma implementar alternativas de tratamiento y aprovechamiento del lodo.

Se recomienda para futuras aplicaciones del uso de lodo en la fabricación de ladrillos macizos analizar nuevamente los especímenes de las mezclas con 15%, 25% y 35% de adición de lodo considerando otro tipo de ensayos que permitan evaluar a profundidad las condiciones físicas y mecánicas de los mismos, planteando un diseño experimental que permita verificar los datos obtenidos en el laboratorio de una forma más veraz.

Realizar convenio entre las empresas del sector de construcción como ARGOS y ladrilleras artesanales con el fin de establecer lazos de colaboración para el destino final del insumo para materiales de construcción, para de esta forma beneficiarse las dos empresas.

Realizar por parte de la empresa un ecomapa con información detallada para obtener una herramienta ambiental y económica al momento de la toma de decisiones, debido a que por cuestiones de privacidad no se permite información específica a personas externas a la empresa.

Implementar un sistema de tratamiento de lodos, a fin de evitar vertimientos y asegurar la calidad de la fuente hídrica el Algodonal.

Es necesario la elaboración de una planta piloto, la cual consiste en una planta de tratamiento a escala de laboratorio o técnica, que sirve para el estudio de la tratabilidad de un desecho o la determinación de las constantes cinéticas y los parámetros de diseño del proceso (RAS título E, 2000). Esto sería ideal para obtener un análisis más acertado sobre la inversión y los procesos o estrategias a implementar en el diseño e implementación del tratamiento del lodo.

Referencias

- Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., & Boyce, G. (2002). "Slope Stability and Stabilization Methods", John Wiley & Sons Inc., New York.
- Aguilera, I., Pérez, R., & Marañón, A. (2010). Determinación de sulfato por el método turbidimétrico en aguas y aguas residuales, validación del método. *revista cubana de química*, 38-44. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543720007>
- Ahmad, T., Ahmad, K., & Alam, M. (2015). Characterization of water treatment plant's sludge and its safe disposal options. *procedida environmental sciences , elsevier*, 951.
- Ahmad, T., Ahmad, K., & Alam, M. (2016). Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. *Journal of Cleaner Production*.
- Alcaldia de Ocaña- Norte de Santander. (9 de Febrero de 2014). Obtenido de http://www.ocana-nortedesantander.gov.co/informacion_general.shtml#identificacion
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, & Water Environment Federation. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater, volume 21*. American Public Health Association.
- Badillo., E. J. (2001). *Mecánica de suelos* (Vol. 2). Editorial Limusa.
- Benlalla, A., Elmoussaouiti, M., Dahhou, M., & Assafi, M. (2015). Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. *Applied Clay Science*, 171-177.
- Bermejo, J. (2011). *AgroLogica*. Retrieved from Auto diagnostico de plagas: <http://www.agrologica.es/informacion-plaga/rosquilla-verde-y-negra-gardama-spodoptera-spp/>
- Bernardo, L., Angela Di, B., & Voltan, P. (2012). *Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água* (1 ed., Vol. 1). São Carlos: LDiBe. Obtenido de <https://loja.editoracubo.com.br/loja.editoracubo.com.br/metodos-e-tecnicas-de-tratamento-e-disposicao-dos-residuos-gerados-em-estacoes-de-tratamento-de-agua>
- Blandon, S. B. (2010). *repositorio.utp.edu.co*. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1835/1/62839B932.pdf>
- Bonachea Pico, J. (2006). Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos. *Tesis Doctoral, Departamento de ciencias de la tierra y fisica de la materia condensada*. España: Universidad de Cantabria.
- Bradly, H. (2005). *Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation* (Vol. 6). London: Elsevier/Academic Press.

- Bryman, A. (2007). *Barriers to integrating quantitative and qualitative research*. *Journal of Mixed Method Research* (Vol. 1).
- Caballero, E. L. (2011). El concepto de ladera urbana. Centro Nacional Suizo de Competencia en Investigacion Norte-Sur(NCCR Norte-Sur). Obtenido de <http://www.sirih.org/uploaded/content/article/963613792.pdf>
- Catrillón, C., & Quintero, J. (2012). Guía de Instrumentacion en Taludes Intervenidos por un Proyecto Vial (Tesis de Posgrado). Universidad de Medellin, Medellin.
- Ceron, O., Millan, S., Fabrcio, E., & Rodriguez, A. (2019). Aplicación de lodos de plantas potabilizadoras para elaborar morteros y concreto . *ReaserchGate*.
- Chire Salazar, Y. P., & Rondán Gutierrez, G. B. (2014). *Uso de lodos generados en los decantadores de una planta de tratamiento de agua potable como materia prima para la elaboración de ladrillos de construcción*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3959/IQchsayp035.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chung-Ho, H., & Shun-Yuan, W. (2013). Application of water treatment sludge in the manufacturing of lightweight aggregate. *Construction and Building Materials*, 43, 174-183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.016>
- Comisión Nacional del Agua. (Diembre de 2007). *Guia para el manejo, estabilizacion y disposicion de lodos quimicos*. Obtenido de <ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Guia%20para%20el%20manejo,%20estabilizacion%20y%20disposicion%20de%20lodos%20quimicos.pdf>
- Constitucion Politica de Colombia. (1991). Art. 80 derechos colectivos y del ambiente. Bogota: Corte Constitucional. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4125>
- Cornforth, D. (2005). "Landslides in practice investigation, analysis, and remedial/preventative options in Soils". John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Corominas, J., Moya, J., Lloret, A., Gili, J., Angeli, M., Pasuto , A., & Silvano, S. (2000). "Measurement of landslide displacements using wire extensometer". *Engineering Geology* 55.
- Crozier. (1986). *Landslides: Causes, Consequences and Environment, Croom Hell*. London.
- Decreto 1713. (2002). Bogotá D.C.: Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Decreto 2981. (2013). Prestacion del servicio publico de aseo. Bogotá D.C., Colombia: Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=56035>
- Decreto 3930. (2010). Uso del recurso hidrico y residuos liquidos. Bogotá D.C., Colombia: Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>

- Dumnicliff, J. (1988). "Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance". New York : Wiley.
- EPA. (2011). *Drinking Water Treatment Plant Residuals Management Technical Report*. EPA 820-R-11-003.
- ESPO S.A. (2018). *ESPO S.A.* Obtenido de <http://www.actiweb.es/espo/servicios.html>
- FAO. (2018). *Textura del Suelo*. Obtenido de http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- Fercon. (2018). *Semilla de pepino*. Obtenido de Hortalizas: <https://fercon.com.co/producto/pepino-cohombro/>
- Fercon. (2018). *Semilla de rabano*. Obtenido de Hortalizas: <https://fercon.com.co/producto/rabano-crimpson-giant/>
- Fernández, M., Razo, A., García, S., Gómez, L., Piñón, M., Guzmán, R., & Galar, M. (1 de February de 2012). Aluminum-induced oxidative stress and neurotoxicity in grass carp (Cyprinidae—Ctenopharingodon idella). *Ecotoxicology and Environmental safety*, 87-92. Obtenido de <https://sibdigital.ufps.edu.co:2089/science/article/pii/S0147651311003058>
- Franco, J. (2014). Acondicionamiento de lodo de desecho contenido aluminio para remover fósforo de efluentes secundarias en un sistema de filtración. D.F., Mexico.
- Fuccz, J., Gomez, R., Cardenas, M., & Campos, C. (2007). Comportamiento de coliformes fecales como indicadores bacterianos de contaminación fecal en diferentes mezclas de bióslido y estériles utilizados para la restauración ecológica de la cantera Soratama, Bogotá. *UNIVERSITAS SCIENTIARUM Enero-junio de 2007*, 12. Retrieved from file:///C:/Users/ACER/Downloads/4894-Article%20Text-17888-1-10-20130430.pdf
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (21 de Agosto de 2015). Normas Tecnicas Complementaria de la Ley de Edificaciones del estado de Baja California, de Seguridad Estructural en Materia de Diseño Sísmico. págs. 1-62. Obtenido de http://www.tijuana.gob.mx/sdue/dau/transparencia/FRACCION_I/Estatal/NTC_DisenoSismico.pdf
- Gastaldini, A., Hengen, M., Gastaldini, M., do Amaral, F., Antolini, M., & Coletto, T. (2015). The use of water treatment plant sludge ash as a mineral addition. *Construction and Building Materials*, 94, 513-520. Retrieved from www.elsevier.com/locate/conbuildmat
- Gersocovich, D. M. (2015). *Estabilidad de Taludes*. Lemoine Editores.
- Gutiérrez, R., Bartra, R., & Díaz, A. (2015). *Tratamiento por Deshidratación y Acondicionamiento Químico a los Lodos Generados en el Proceso de Potabilización de las aguas para Reducir su Carga Contaminante*. Obtenido de file:///C:/Users/ACER/Downloads/TP_ISA_00011_2015.pdf
- Gutierrez, J., Ramirez, A., Rivas, R., Linares, B., & Paredes, D. (2014). Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. *Redalyc*, 15. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v13n25/v13n25a02.pdf>

- Guzman, A., Camargo, L., Alvarez, J., & Avila, Y. (2012). Aprovechamiento de lodos provenientes de una PTAP en la elaboracion de morteros y concreto. *XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción CONPAT-Colombia*, 1-9.
- Hanna, T. H. (1985). "Field Instrumentation In Geotechnical Engineering". Trans. Tech. Publications.
- Hopkins, W. G. (21 de noviembre de 2000). *sportscience*. Obtenido de <http://www.sportsci.org/jour/0001/wghdesign.html>
- I.N.V. (2012). Instituto Nacional de Vias. *Normas de ensayo de materiales para carreteras*. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2007). *Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días incubación*. Subdirección de hidrología - grupo laboratorio de calidad ambiental. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2007). *Demanda Química de Oxígeno por reflujo*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA. Bogota: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- Instituto Colombiano Agrícola. (2012). *Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo del caucho*. Bogotá: Camilo Vasquez Gonzalez. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/getattachment/47f3dbff-348d-4f63-968b-4cd196db8e4f/-nbspc;Manejo-integrado-de-plagas-y-enfermedades-en.aspx>
- JAPAC. (20 de Junio de 2016). *JAPAC agua y salud para todos*. Obtenido de Descubre cómo afecta el pH al agua: <http://japac.gob.mx/2016/06/20/descubre-como-afecta-el-ph-al-agua/>
- Jaramillo, L. A. (2002). *Bogotana de aguas y saneamiento* . Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005609/DocumentosOffice/viernes/ModulodeGestiondelosResSolToxPeli/ElementosparaunareglamentaciondelosBiosolidos.pdf>
- Kanalizace, S. V. (2008). Opportunities for the water treatment of sludge reuse water možnosti využití odpadních vodárenských kalů. *Construction and building materials*, 11.
- Kibria, G. (2014). Trace/heavy Metals and Its Impact on Environment, Biodiversity and Human Health- A Short Review. *Research gate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/266618621_Traceheavy_Metals_and_Its_Impact_on_Environment_Biodiversity_and_Human_Health-_A_Short_Review
- Ley 99. (1993). *Ley General Ambiental de Colombia*. Bogotá D.C: Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>
- Loaiza, A. V. (16 de Marzo de 2018). De 1.122 en el país, solo 541 cuentan con sistemas de saneamiento. *La Republica*. Obtenido de

- <https://www.larepublica.co/infraestructura/solamente-482-de-los-municipios-cuentan-con-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-2611155>
- Lopez, A. E. (2013). Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis provincia de Chimborazo. Ecuador, Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf>
- Martel, A. B. (2004). *ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA*. (C. P. Ambiente, Ed.) Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- McIntyre, J., David, B., Meador, J., & Scholz, N. (2008). Chemosensory Deprivation in Juvenile Coho Salmon Exposed to Dissolved Copper under Varying Water Chemistry Conditions. *Environmental Science and Technology*, 1352-1358. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18351116>
- McMillan, J. H., & Schumacher, S. (1993). *Research in education: A conceptual understanding*. New York, NY: Harper Collins.
- Mendoza, L., Vazquez, S., & Rosquillas, A. (2007). Movimiento de Ladera o de Masas de Terreno en Tijuana, B.C. Tijuana, Baja California, México. Obtenido de <http://www.proteccioncivil.tijuana.gob.mx>
- Mikkelsen, P. (1996). "Field Instrumentation". Landslides Investigation and Mitigation. Special report.
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. *seccion II titulo E*. Bogotá. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf
- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2017). Resolución 0330. Bogotá. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>
- Montaño, N., Sandoval, A., Camargo, S., & Sánchez, J. (2010). *Los Microorganismos: pequeños gigantes*. Mexico: Elementos77. Obtenido de <https://elementos.buap.mx/num77/pdf/15.pdf>
- Monty C., D., & Mark L., M. (2001). *Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso*. Texas. Obtenido de <https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/15451sironandman.pdf>
- Morgenstern, N. (1997). Toward landslide risk assessment in practice. *Proceedings of the International Workshop on landslide risk assessment*, 15-23.
- Navarro, L. (2009). *Proyecto de Investigacion*. (Liven, Ed.) Venezuela: Melvin C.A.
- Nogueira, L., DiBernardo, A., & DiBernardo, P. (2012). *Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água* (1 ed., Vol. 1). São Carlos: LDiBe. Obtenido de <https://loja.editoracubo.com.br/loja.editoracubo.com.br/metodos-e-tecnicas-de-tratamento-e-disposicao-dos-residuos-gerados-em-estacoes-de-tratamento-de-agua>

- Norma de calidad de compost. (2000). Comision nacional del medio ambiente departamento descontaminacion, planes y normas.
- NTC 5167. (2011, marzo 31). Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abono o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. (i. c. certificacion, Ed.) *icontec internacional*.
- NTC-ISO 5667-1. (23 de 12 de 2010). Gestion Amniental. Calida del Agua. Muestreo. Directrices para el Diseno de porgramas de Muestreo. Bogota, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Cientificas (ICONTEC).
- Núñez, J., & Peña, M. (2011). Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en la planta de potabilización de la empresa aguas de cartagena s.a e.s.p y estudio de la viabilidad económica de su reutilización como coagulante. (*Trabajo de Grado*), 18. Cartagena, Colombia: Univercidad de Cartagena Facultad de Ingenieria . Obtenido de <http://www.elaguapotable.com/RECUPERACION%20DE%20SULFATO%20DE%20ALUMINIO%20A%20PARTIR%20DE%20LODOS%20GENERADOS%20EN%20LA%20PLANTA%20DE%20POTABILIZACION%20DE%20LA%20EMPRESA%20AGUAS%20DE%20CARTAGENA%20S.pdf>
- Obando, T. E. (2009). Sistemas de Monitoreo y control de la Estabilidad de Taludes Rocosos y Suelos. Huelva, España.
- Ochoa, J. (03 de 04 de 2009). Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/14998597/Concepto-y-definicion-de-materia-prima>
- Oliva, A., & Gonzales, J. (2015). *Evaluacion de Riesgos por Inestabilidad de Laderas. Casos de Estudio*. Tijuana. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Javier_Gonzalez56/publication/279288168_EVALUACION_DE_RIESGOS_POR_DESLIZAMIENTOS_DE_LADERAS_Evaluacion_del_riesgo_por_inestabilidad_de_laderas_Casos_de_estudio_Ingenieria_del_Terreno_Instrumentacion_y_Control/links/559
- Ospina, Ó., García, G., Gordillo, J., & Tovar, K. (April de 2016). Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia). *Ingeniería solidaria*, 19-36. doi:10.16925/in.v12i19.1191
- Pizzi, N. (2010). *Water Treatment Plant Residuals Pocket field Guide*. American Water Works Association .
- Ponkarthikeyan, P., Genesh, R., & Sheering, A. (2016). Experimental Study on Bricks Using Water Treatment Sludge. *Internatinal Journal for Reasearch in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, 4, 485-493. Retrieved from <https://www.ijraset.com/fileserve.php?FID=5900>
- Price, P., Jhangiani, R., & Chiang, C. (2015). *Research Methods in Psychology*. Fresno: BCcampus opened. Obtenido de <https://opentextbc.ca/researchmethods/chapter/overview-of-nonexperimental-research/>

- Pulido, M., Navia, S., Estupiñán, S., & Prieto, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA Publicación en Ciencias Biomédicas*, 69-79. Obtenido de <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/338/1214>
- Quirós, F. R. (Junio de 2008). *Lodos producidos en el tratamiento del agua potable*. Obtenido de <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-222-lodos-producidos-tratamiento-agua-potable.aspx>
- Raigosa, M. (2012). *Evaluación de alternativas para el manejo de lodos provenientes de las plantas de potabilización de agua de los municipios del departamento de risaraldas mediante el análisis costo-beneficio*. repositorio.utp.edu.co, Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda, Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/2702/1/62839R149.pdf>
- Ramadan, M., Fouad, H., & Hassanain, A. (2008). Reuse of water treatment plant sludge plant sludge in brick manufacturing. *Journal of Applied Sciences Research*, 1223-1229.
- Ramírez Quirós, F. (2008). Lodos producidos en el tratamiento de agua potable. *Técnica industrial*, 47. Obtenido de <http://www.tecnicaindustrial.es/tifrontal/a-222-lodos-producidos-tratamiento-agua-potable.aspx>
- Ramirez, G. A. (2003). *Manejo de lodos producidos en la planta de tratamiento de agua potable, planta II, del municipio de Cartago*. Manizales.
- RAS titulo A. (Noviembre de 2000). Ministerio de Desarrollo Economico Direccion de Agua Potable y Saneamiento Basico. *Reglamento Tecnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico RAS-2000 Titulo A*. Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf
- RAS titulo C. (Noviembre de 2017). Ministerio de Desarrollo Economico Direccion de Agua Potable y Saneamiento Basico. *Reglamento Tecnico Del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico RAS-2000 Titulo C*. Bogotá D.C. Obtenido de http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- RAS titulo E. (2000). Ministerio de Desarrollo Economico Direccion de Agua Potable y Saneamiento Basico. *Reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento basico*, E.9. Bogotá D.C., Colombia.
- Restrepo, M. A. (2012). *Evaluación de alternativas para el manejo de lodos provenientes de potabilización de agua de los municipios del departamento de Risaralda mediante el análisis costo-beneficio*. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2702/62839R149.pdf?sequence=1>
- Reuss, J., & Johnson, D. (1986). *Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters*. New York: Springer-Verlag. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=sFHmBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Acid+Deposition+and+the+Acidification+of+Soils+and+Waters&ots=QI7poG2P Ss&sig=laZ53S79zyeZhCCWnKP9SKAddr#v=onepage&q=Acid%20Deposition%20and%20the%20Acidification%20of%20Soils%20>

- Reyes, C., & Fernández, L. (1996). "Monitoring of Surface movements in excavated slopes". Proceedings of the Seventh International Symposium on landslides. Trondheim.
- Rodriguez, J. N. (2013). *Propuesta metodologica para tratameitno de lodos provenientes de plantas de potabilización en la sabana de Bogotá (estudio de caso Madrid, Cundinamarca)*. Obtenido de <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11289/Proyecto%20695-764%20Nicolas%20Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1>
- Rodríguez, N. H. (2012). Valorización de residuos de estaciones de tratamiento de agua potable y residual en la industria del cemento. *Dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=31254>
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de Compostaje del Agricultor experiencia en la tino america. Santiago, Chile : Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Sampieri, R., Collado, C., & Baptista, P. (2010). *Metodologia de la investigacion* (5 ed.). Mexico: McGraw-Hill / Interamericana editores, S.A. de C.V. Obtenido de https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf
- Sandoval, L., Motellano, L., Martín, A., Sánchez, L., Santana, M. d., & Morán, M. (1998). Tratabilidad de los lodos producidos en la potabilización del agua. *Seminario Regional Bienal sobre Potabilización Filtración*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/268016360_tratabilidad_de_los_lodos_producidos_en_la_potabilizacion_del_agua
- SCCS. (2013). Ciencia del suelo: principios basicos. 2, 594. Bogota, Colombia. Obtenido de <http://www.rioclaro.com.co/-que-es-una-enmienda-agricolar-content-66.html>
- Sec. Juridica Distrital. (8 de Junio de 2017). Resolucion 330 de 2017. *Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial*. Bogota, Colombia. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71542>
- Shah, A. (2017). Heavy metal impact on aquatic life and human health. *IAIA17 Conference Proceedings | IA's Contribution in Addressing Climate Change 37th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment*, (págs. 1-7). Canada. Obtenido de <http://conferences.iaia.org/2017/final-papers/Shah,%20Alkesh%20-%20Heavy%20Metal%20Impacto%20on%20Aquatic%20Life%20and%20Human%20Health.pdf>
- SIDUE. (1976). Obtenido de Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California: <http://www.sidue.gob.mx/doctos/2013/normatividad/39.pdf>
- Sneddon, C. (2012). *Geology and Human Health*. Obtenido de Chromium and its negative effects on the environment: https://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/health/case_studies/chromium.html
- Solomon, F. (2009). *Impacts of Copper on Aquatic Ecosystems and human health*. Obtenido de Mining.com:

- http://www.aqua2use.net/files/6714/1409/9604/Impacts_of_Copper_on_Aquatic_Ecosyst_ems_and_human_Health.pdf
- Stead, D., Benko, B., Coggan, J. S., & Eberhardt, E. (2000). "Mechanism of failure of complex landslides: A Numerical Modelling Perspective". 1401-1046. 8th International symposium on landslides, Cardiff.
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosion y Deslizamientos.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos. Análisis Geotecnico* (Vol. 1). Bucaramanga, Columbia: U. Industrial de Santander.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos. Técnicas de remediación* (Vol. 2). Bucaramanga, Colombia: U. Industrial de Santander.
- Torrellas, R. (13 de 08 de 2013). La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud. *tecnogestión*, 9, 3-11. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tecges/article/view/5646/7188>
- Torres, P., Hernández, D., & Paredes, D. (2012). Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 145_153.
- Torres, P., Hernández, D., & Paredes, D. (2012, Diciembre). Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. *Ingeniería de Construcción*, 145-153.
- UDCI. (2017). *Universidad de las Californias Internacional*. Obtenido de <http://www.udc.com.mx/index.php/quienes-somos/quienes-somos.html>
- Universidad de Oriente. (s.f.). *UNIVO*. Obtenido de http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/021205/021205_Cap3.pdf
- Vacca, D. (2017). *Alternativa conceptual para la dispsicion de los lodos Generados en la planta floridablanca del amb*. Universidad Industrial de santander , facultad de ingenieria fisicoquimicas, Bucaramanga .
- Van Hoff, B., Monroy, N., & Saer , A. (2008). *Produccion mas limpia: paradigma de gestion ambiental*. Bogotá: Alfaomega.
- Varnes. (1984). *Landslide hazard Zonation. A Review of Principles and practice*. Paris: UNESCO Press.
- Villegas G, J. D., Castaño R, J. M., & Paredes Cuervo, D. (2005). Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en plantas de potabilización de agua. *Scientia et Technica Año XI*, 223. Obtenido de <http://www.elaguapotable.com/Recuperacion%20Sulfato.pdf>
- Villegas, M. & Vidal Tordecilla, E. (2009). *tesis.udea.edu.co*. Obtenido de <http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/55/1/GestionProcesosDescontaminacion.pdf>

- Westen, V. (2005). Introducción al uso de SIGs en el mapeo de deslizamientos. *International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. ITC Enschede, The Netherlands.*
- Williams, Y. (2015). *study.com/True Experiment: Definition & Examples*. Obtenido de <http://study.com/academy/lesson/true-experiment-definition-examples.html>
- XXII Ayuntamiento Tijuana. (6 de Enero de 2017). *Tijuana*. Obtenido de Reglamento para la Excavacion, extraccion y nivelación de terrenos en el Municipio de Tijuana: http://www.tijuana.gob.mx/Reglamentos/Municipales/RM_ExcavacionExtraccionyNivelaciondeTerrenos_TJ-BC_06012017.pdf
- Yen, C., Tseng, D., & Lin, T. (2011). Characterization of eco-cement paste produced from waste sludges. *Chemosphere* , 220-226.
- Zamora, R., Alfaro, O., Cabirol, N., Ayala, F., & Moreno, A. (2008). Valorization of dinking water treatment sludges as raw materials to produce concreat and mortar. *American journal of environmental science*, 223-228.

Apéndices

Apéndice A. Análisis fisicoquímico

1. Análisis fisicoquímico en tiempo de verano, 26, 28, 29 y 30 de julio.

Muestra 1					Muestra 2				
Parámetros	Unidades	1.1	1.2	1.3	Parámetros	Unidades	2.1	2.2	2.4
Fosfato	mg/L	0.08	0.2	0.32	Fosfato	mg/L	0.11	0.16	0.19
Manganeso	mg/L	5.3	4.9	5.6	Manganeso	mg/L	7	6	6.5
Cobre	mg/L	2.99	2.13	2.14	Cobre	mg/L	3.78	2.14	2.21
Hierro	mg/L	0.69	0.69	0.73	Hierro	mg/L	0.66	0.7	0.72
Aluminio	mg/L	0.069	0.071	0.078	Aluminio	mg/L	0.095	0.111	0.119
Sulfato	mg/L	19	18	16	Sulfato	mg/L	30	34	39
Nitrito	mg/L	0.0297	0.0396	0.0429	Nitrito	mg/L	0.0429	0.0561	0.0627
Nitrato	mg/L	7.92	8.8	9.68	Nitrato	mg/L	10.56	13.2	12.32
pH		7.629	7.503	7.399	pH		7.513	7.473	7.483
DBO	mg/L				DBO	mg/L			
DQO	mg/L	31	35	25	DQO	mg/L	0	0	0
SST	mg/L	50	650	140	SST	mg/L	160	290	250
SSV	mg/L	30	370	100	SSV	mg/L	60	120	130
Turbiedad	UNT	11.6	43	68	Turbiedad	UNT	12	51	53
Conductividad	μohms	316.6	309.5	282.1	Conductividad	Mohms	331.9	341.2	369.2

Muestra 3					Muestra 4				
Parámetros	Unidades	3.1	3.2	3.3	Parámetros	Unidades	4.1	4.2	4.3
Fosfato	mg/L	0.26	0.29	0.36	Fosfato	mg/L	0.48	0.44	0.22
Manganeso	mg/L	8.2	5.3	5.6	Manganeso	mg/L	3.8	4.3	4
Cobre	mg/L	2, 87	1.6	1.99	Cobre	mg/L	3.54	1.96	1.95
Hierro	mg/L	1.44	0.98	1.39	Hierro	mg/L	0.96	1.43	0.95
Aluminio	mg/L	0.132	0.115	1.146	Aluminio	mg/L	0.859	1.255	0.255
Sulfato	mg/L	46	40	42	Sulfato	mg/L	52	62	34
Nitrito	mg/L	0.1188	0.1056	0.0891	Nitrito	mg/L	0.099	0.1551	0.0561
Nitrato	mg/L	24.2	21.12	18.48	Nitrato	mg/L	17.16	34.32	20.68
pH		7.487	7.569	7.602	Ph		7.303	7.248	7.341
DBO	mg/L				DBO	mg/L			
DQO	mg/L	38	49	57	DQO	mg/L	0	2	0
SST	mg/L	100	60	50	SST	mg/L	40	640	50
SSV	mg/L	40	20	20	SSV	mg/L	10	260	20
Turbiedad	UNT	90	65	65	Turbiedad	UNT	58	121	43
Conductividad	μohms	339.8	341.5	334.4	Conductividad	Mohms	398.6	405.8	380.3

2. Análisis fisicoquímico en tiempo de invierno, 12, 13, 14 y 15 de septiembre.

Muestra 1					Muestra 2				
Parámetros	Unidades	1.1	1.2	1.3	Parámetros	Unidades	2.1	2.2	2.3
Fosfato	mg/L	0.15	0.16	2.61	Fosfato	mg/L	1.73	0.56	1.86
Manganeso	mg/L	6.8	0.9	7.8	Manganeso	mg/L	2.3	6	6.3
Cobre	mg/L	0.17	0.22	1.51	Cobre	mg/L	0.35	0.21	0.6
Hierro	mg/L	0.4	0.78	1.66	Hierro	mg/L	0.87	0.42	0.93
Aluminio	mg/L	0.028	0.074	0.243	Aluminio	mg/L	0.075	0.074	0.021
Sulfato	mg/L	65	73	65	Sulfato	mg/L	60	60	58
Nitrito	mg/L	0.033	0.0528	0.3498	Nitrito	mg/L	0.2277	0.0528	0.0396
Nitrato	mg/L	5.28	6.6	84.92	Nitrato	mg/L	52.36	7.04	4.84
pH		6.76	7.19	7.35	pH		7.31	7.19	6.81
DBO	mg/L				DBO	mg/L			
DQO	mg/L	32	36	71	DQO	mg/L	46	32	32
SST	mg/L	870	250	170	SST	mg/L	50	100	120
SSV	mg/L	350	120	80	SSV	mg/L	30	60	60
Turbiedad	UNT	103	92	131	Turbiedad	UNT	149	93	111
Conductividad	μohms	326.1	533	430	Conductividad	μohms	329.2	541	422

Muestra 3					Muestra 4				
Parámetros	Unidades	3.1	3.2	3.3	Parámetros	Unidades	4.1	4.2	4.3
Fosfato	mg/L	0.98	0.66	1.28	Fosfato	mg/L	0.61	0.46	0.4
Manganeso	mg/L	5	6.6	6.9	Manganeso	mg/L	7.1	8.8	6.4
Cobre	mg/L	0.45	0.31	0.95	Cobre	mg/L	0.42	0.36	1.53
Hierro	mg/L	0.99	0.84	2.89	Hierro	mg/L	1.13	1.53	7.03
Aluminio	mg/L	0.035	0.159	0.106	Aluminio	mg/L	0.047	0.045	0.09
Sulfato	mg/L	78	82	76	Sulfato	mg/L	86	90	90
Nitrito	mg/L	0.1452	0.1452	0.8877	Nitrito	mg/L	0.1155	0.0924	0.2211
Nitrato	mg/L	13.64	9.68	25.96	Nitrato	mg/L	13.2	13.2	26.4
pH		6.79	7.16	7.34	pH		6.89	7.29	7.49
DBO	mg/L				DBO	mg/L			
DQO	mg/L	52	67	55	DQO	mg/L	62	43	64
SST	mg/L	70	130	470	SST	mg/L	60	90	50
SSV	mg/L	40	70	190	SSV	mg/L	40	60	40
Turbiedad	UNT	134	153	903	Turbiedad	UNT	102	137	214
Conductividad	Mohms	330.3	534	483.2	Conductividad	μohms	326.7	520	457.8

3. Análisis fisicoquímico en tiempo de invierno, 13, 14, 16 y 25 de octubre.

Muestra 1					Muestra 2				
Parámetros	Unidades	1.1	1.2	1.3	Parámetros	Unidades	2.1	2.2	2.3
Fosfato	mg/L	0.46	0.6	0.83	Fosfato	mg/L	0.53	0.7	0.88
Manganeso	mg/L	5	3	3.2	Manganeso	mg/L	5.2	3.1	3.4
Cobre	mg/L	0.54	1.13	1.81	Cobre	mg/L	0.5	1.1	1.79
Hierro	mg/L	1.59	3.28	5.93	Hierro	mg/L	1.63	3.31	6.11
Aluminio	mg/L	0.038	0.116	0.17	Aluminio	mg/L	0.041	0.13	0.178
Sulfato	mg/L	46	27	38	Sulfato	mg/L	47	28	36
Nitrito	mg/L	0.037	0.074	0.109	Nitrito	mg/L	0.037	0.069	0.111
Nitrato	mg/L	6.1	8	17.2	Nitrato	mg/L	6	10.2	16.7
pH		6.94	7.05	7	pH		6.96	7.07	7
DBO	mg/L				DBO	mg/L			
DQO	mg/L	40	0	121	DQO	mg/L	53	120	121
SST	mg/L	150	60	120	SST	mg/L	20	80	90
SSV	mg/L	80	20	40	SSV	mg/L	8	30	50
Turbiedad	UNT	63	108	184	Turbiedad	UNT	70	115	195
Conductividad	μohms	146	137	127	Conductividad	μohms	181	125	142

Muestra 3					Muestra 4				
Parámetros	Unidades	3.1	3.2	3.3	Parámetros	Unidades	4.1	4.2	4.3
Fosfato	mg/L	3.41	0.42	0.39	Fosfato	mg/L	0.32	0.44	0.34
Manganeso	mg/L	3.5	9.4	1.6	Manganeso	mg/L	7.6	0	0.4
Cobre	mg/L	3.12	0.8	0.39	Cobre	mg/L	0.6	0.66	0.62
Hierro	mg/L	3.5	6.37	1.33	Hierro	mg/L	2.76	1.65	2.53
Aluminio	mg/L	0.8	0.242	0.11	Aluminio	mg/L	0.139	0.64	0.128
Sulfato	mg/L	92	44	33	Sulfato	mg/L	58	46	45
Nitrito	mg/L	0.1037	0.1089	0.0726	Nitrito	mg/L	0.1122	0.0726	0.1254
Nitrato	mg/L	19.52	28.16	18.48	Nitrato	mg/L	31.68	25.96	36.52
pH		6.11	6.45	6.66	pH		6.7	6.9	6.9
DBO	mg/L				DBO	mg/L			
DQO	mg/L	86	64	43	DQO	mg/L	5	9	11
SST	mg/L	760	820	440	SST	mg/L	80	350	70
SSV	mg/L	400	410	130	SSV	mg/L	50	120	20
Turbiedad	UNT	162	71	56	Turbiedad	UNT	0.62	0.42	0.7
Conductividad	Mohms	225	381	95	Conductividad	Mohms	117	161	190

Análisis se lodo seco en laboratorio de Terrallanos.

		LABORATORIO DE SUELOS TERRALLANOS RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE SUELOS	
NIT. 17350824-5 Teléfono: 316 4727041 Kilómetro 2 vía Aeropuerto - Vereda La Aurora Villavieja, Meta			
SOLICITANTE: JESUS ORLANDO CABELLO			FECHA RECIBO
PROPIETARIO: JESUS ORLANDO CABELLO		FINCA :	12 2 19
VEREDA:	MUNICIPIO: OCAÑA	DEPTO: NORTE DE SANTANDER	FECHA ENTREGA
No. LABORATORIO: 325	No MUESTRA:		15 2 19

Textura	Ph	C %	M. O. %	C/N %	N %	P ppm	Al meq/100g	RELACION DE CATIONES			
								Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
FArL	5,6	2,44	4,20	11,62	0,21	69,7	0,40	2,70	14,21	5,26	19,47
	Med. ácido				0,10 - 0,20	15,00 - 40,00	0,10 - 1,00	3,00 - 6,00	15,00 - 30,00	10,00 - 15,00	20,00 - 40,00
					A	A	N	B	A	B	B

PARAMETROS	COMPLEJO DE CAMBIO meq / 100 g						% DE SATURACIONES					
	CIC	BT	Ca	Mg	K	Na	SCa	SMg	SK	SNa	STAI	STB
Resultado Análisis	23,5	7,95	5,40	2,00	0,38	0,17	22,98	8,51	1,62	0,72	4,79	33,83
Rango Adeoado			3,00 - 10,00	1,50 - 3,00	0,20 - 0,40	0,10 - 1,00	50,00 - 80,00	10,00 - 20,00	2,00 - 3,00	5,00 - 15,00	25-50	35,00 - 50,00
Calificación			N	B	N	N	B	B	B	B	B	N

PARAMETROS	ELEMENTOS MENORES - Partes por Millón (ppm)					
	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S
Resultado Análisis	2,75	288,75	179,37	1,00	0,20	56,24
Rango Adeoado	1,00 - 3,00	20,00-100,00	10,00 - 20,00	2,00 - 4,00	0,30 - 0,60	10,00 - 20,00
Calificación	N	A	A	B	B	A


JULIO CESAR MORENO

ANALISIS REALIZADO.	METODOS	DETERMINACION	Observaciones	Equivalencias
Textura	Bouyoucos	Relación 1:1 agua: suelo	Bajo	meq = Millequivalentes
pH	Potenciometría	Volumetría	Normal	ppm = Partes por millón
Materia Orgánica	Walkley Black	Volumetría	Alto	% = Porcentaje
Capacidad de Intercambio catiónica	Acetato de Amonio pH 7	Bray II	Medio	
Fósforo disponible	Colorimétrico	Acetato de amonio pH 7		
Bases Intercambiables (Ca, Mg, K, Na)	Absorción atómica	Volumetría		
Aluminio Intercambiable	Cloruro de potasio 1 N (Yuang)	Fosfato monocalcico 0.008 M		
Azufre	Turidimétrico	Fosfato monocalcico 0.008 M		
Boro	Colorimétrico	Extracción con DTPA		
Micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn)	Absorción atómica			

Apéndice B. Análisis microbiológico.

1. Análisis microbiológico en tiempo de verano, 26, 28, 29 y 30 de julio.

Muestra 1					Muestra 2				
Parámetros	Unidades	1.1	1.2	1.3	Parámetros	Unidades	2.1	2.2	2.3
Coliformes	Ufc/100mL	>300	>300	>300	Coliformes	Ufc/100mL	>300	>300	>300
<i>E. coli</i>	Ufc/100mL	20	54	146	<i>E. coli</i>	Ufc/100mL	124	143	132

2. Análisis microbiológico en tiempo de invierno, 12, 13,14 y 15 de septiembre.

Muestra 1					Muestra 2				
Parámetros	Unidades	1.1	1.2	1.3	Parámetros	Unidades	2.1	2.2	2.3
Coliformes	Ufc/100mL	>300	>300	>300	Coliformes	Ufc/100mL	>300	>300	>300
<i>E. coli</i>	Ufc/100mL	4	60	22	<i>E. coli</i>	Ufc/100mL	43	32	29

3. Análisis microbiológico en tiempo de invierno, 13, 14, 16 y 25 de octubre.

Muestra 1					Muestra 2				
Parámetros	Unidades	1.1	1.2	1.3	Parámetros	Unidades	2.1	2.2	2.3
Coliformes	Ufc/100mL	>300	>300	>300	Coliformes	Ufc/100mL	>300	>300	>300
<i>E. coli</i>	Ufc/100mL	>300	>300	>300	<i>E. coli</i>	Ufc/100mL	>300	>300	>300

Apéndice C. Análisis mecánico.

1. Fracción de la Muestra por Hidrómetro con ajuste

DIAMETRO (MM)	% MAS FINO	AJUSTE
0.800000	22.860000	6.16347536
0.410000	20.360000	5.4898715
0.274000	19.110000	5.15306957
0.210000	19.110000	5.15306957
0.106000	16.610000	4.4794657
0.058000	14.120000	3.80586184
0.029000	11.620000	3.13225797
0.015151	9.1193153	2.45865411
0.007627	7.8700940	2.12185217
0.003760	5.3716518	1.44824831

2. Granulometría total de la muestra

Diámetro de partícula (mm)	% más fino que
9.5	100
4.75	100
2	94.713073
0.425	54.98472
0.075	26.587436
0.0294782	3.0891618
0.0151514	2.4248259
0.0076272	2.092658
0.00376	1.4283221

3. Resultados obtenidos en la determinación del límite líquido de la muestra de estudio en el laboratorio de suelo de la universidad sede INVIAS.

PRUEBA N°	I	II	III
Recipiente N°	1	2	3
Peso del recipiente (g)	18.56	18.25	18.49
Peso recipiente + suelo húmedo (g)	39.83	28.66	31.48
Peso recipiente + suelo seco (g)	31.50	24.49	26.27
Peso del suelo seco (g)	12.94	6.24	7.78
Peso del agua (g)	8.33	4.17	5.21
Contenido de humedad (w%)	64.37	66.83	66.97
N° de golpes	30	23	19

4. Fracción de la muestra por tamizado.

FRACCIÓN DE LA MUESTRA POR TAMIZADO					
Tamiz	Tamiz (mm)	Wret.(g)	% Ret.	% Ret. Acum.	% que Pasa
3/8	9.5	0.0	0.00	0.00	100.00
4	4.75	0.0	0.00	0.00	100.00
10	2.00	15.6	5.29	5.29	94.71
40	0.425	117.0	39.73	45.02	54.98
200	0.075	83.6	28.40	73.41	26.59
Fondo		78.3			
Wtamizado		294.5			
Ws(inicial)		300.0			
Perdida		5.50			

5. Resultados ensayos a Flexión Especímenes.

Proporción sobre Peso mezcla			Peso (g)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Largo (mm)	Área Transversal Efectiva (mm ²)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Real (kPa)
Arcilla	Arena	Lodo							
50%	50%	0%	2875	119	68	244	1502	2.29	1.53
35%	50%	15%	2814	118.33	67.3	244.7	1459	1.31	0.9
25%	50%	25%	2629	117.67	64.7	241.7	1357	4.06	2.99
15%	50%	35%	2706	116	67	240	1445	2.82	1.95
10%	50%	40%	2576	119.67	67.3	244.7	1475	0.87	0.59
5%	50%	45%	2574	121.33	70.3	247	1617	1.41	0.87
Especímen Comercial			2927	122	683	241.3	1571	1.87	1.19

6. Relación dimensional de los especímenes

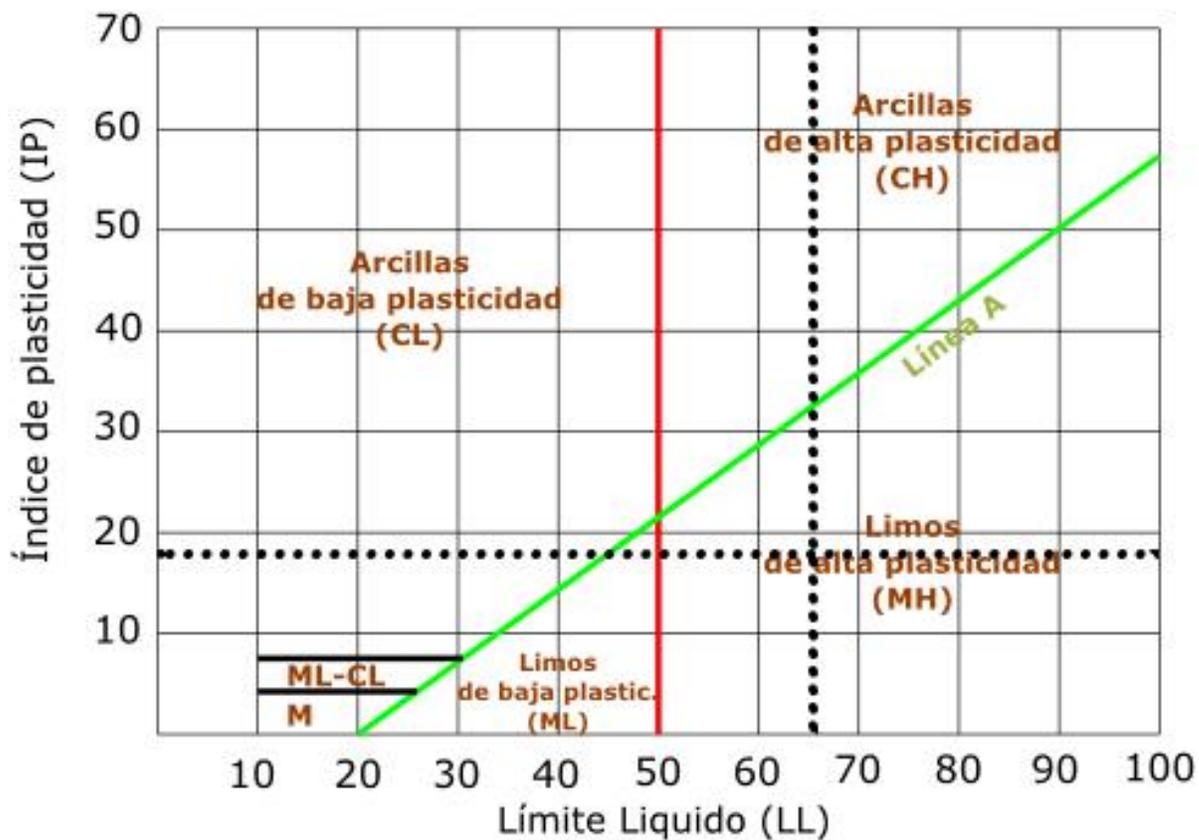
Porcentaje de lodo	Peso (g)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Alto (mm)	Área (mm ²)
0%	2876	114.33	237.30	68.33	27130.51
	2911	118.67	243.70	69.70	28919.88
15%	2227	120.00	202.00	69.33	24240.00
	2828	119.00	242.70	68.00	28881.30
25%	2551	114.00	239.00	64.00	27246.00
	2761	120.33	245.00	67.00	29480.85
35%	2645	118.67	243.33	66.33	28875.97
	2748	117.33	239.67	67.00	28120.48
40%	2595	120.33	246.30	68.33	29637.28
	2491	112.33	228.67	62.67	25686.50
45%	2506	117.67	239.00	65.67	28123.13
	2406	120.00	247.33	67.00	29679.60
Especímen Comercial	3058	120.33	243.67	66.33	29320.81
	2900	122.00	244.33	69.67	29808.26

7. Tabla del ensayo de compresión.

Arcilla	Arena	Lodo	Carga máxima (kN)	Resistencia real (Mpa)	Promedio de resistencia
50%	50%	0%	577.51	21.29	19.40
			506.59	17.52	
35%	50%	15%	280.28	11.56	13.37
			438.48	15.18	
25%	50%	25%	506.00	18.57	16.27
			411.96	13.97	
15%	50%	35%	523.18	18.12	15.93
			386.67	13.75	
10%	50%	40%	227.00	7.66	9.82
			307.82	11.98	
5%	50%	45%	321.80	11.44	9.24
			208.99	7.041	
Espécimen Comercial			333.75	11.38	11.79
			364.09	12.21	

Apéndice D. Clasificación fisicomecánicos.

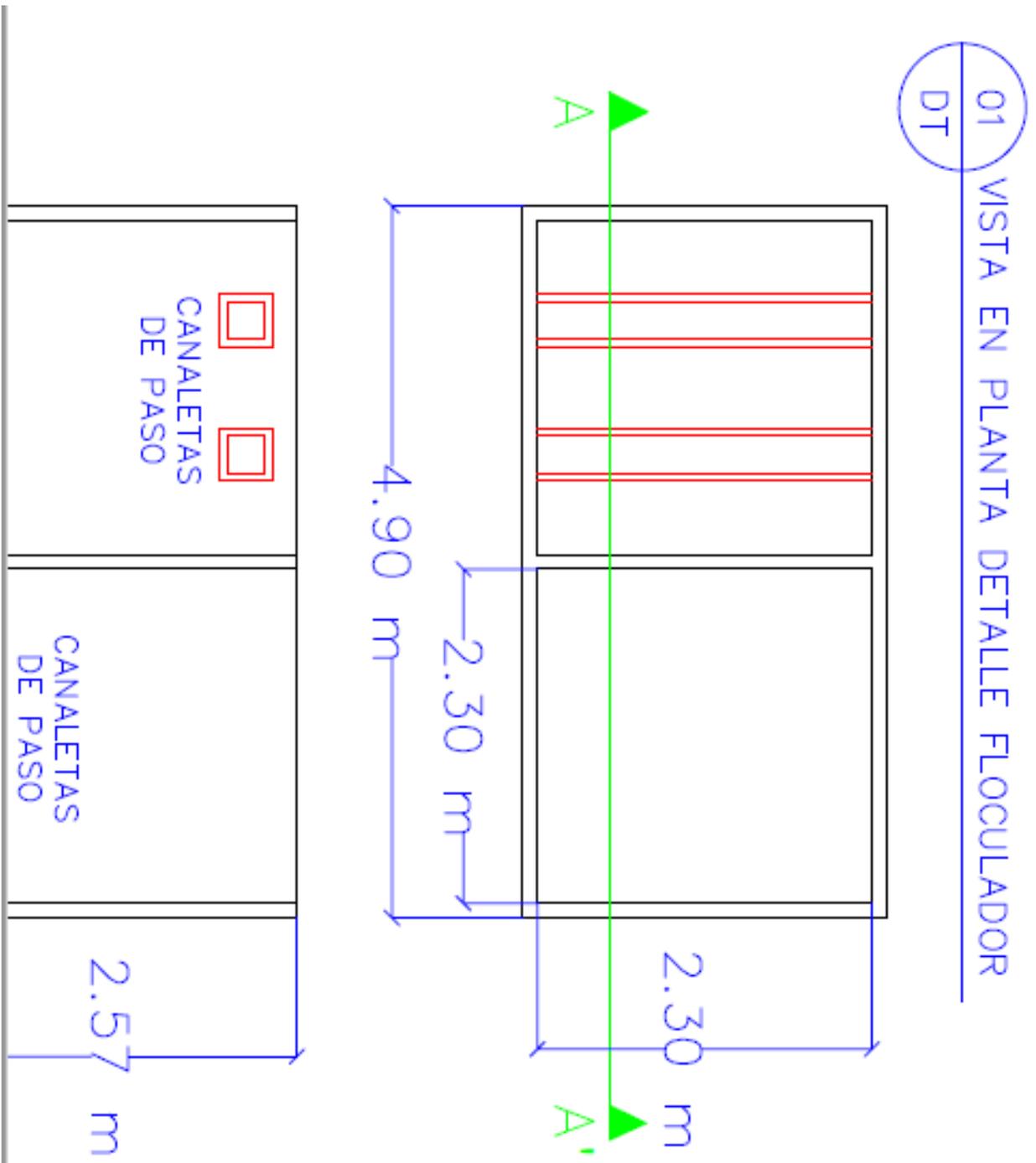
1. Grafica de plasticidad del suelo mediante los límites de Atterberg para su implementación en la clasificación S.U.C.S.



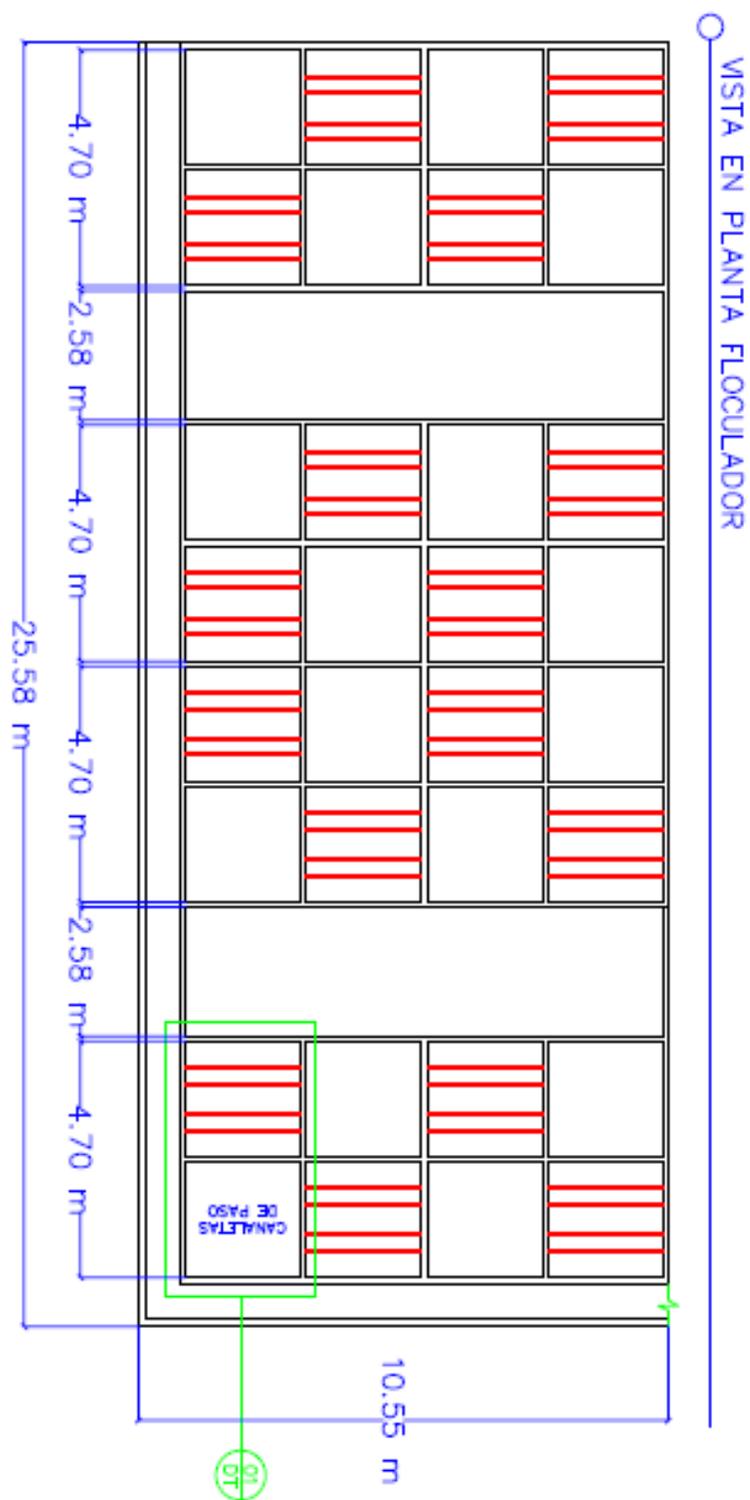
2. Clasificación AASHTO.

Clasificación– general	Material granulas (< 35% pasa el tamiz N 200)							Materiales limo-arcillosos (> 35% pasa el tamiz N 200)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1a	A-1b		A-2- 4	A-2- 5	A-2- 6	A-2- 7				A-7-5 : A- 7-6
Porcentaje que pasa los diferentes tamices:											
N 10 (2.00mm)	50 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
N 40 (0.425mm)	30 máx.	50 máx.	51 min.	-	-	-	-	-	-	-	
N 200 (0.075mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	
Características del material que pasa el tamiz N 40 (0.425mm).											
Limite liquido	-	-	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	41 min.
Índice de plasticidad	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	11 min.*
Terreno de fundación	Excelente a bueno						Regular a malo				
* El índice de plasticidad del A-7-5, es igual o menor a LL – 30.											
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es igual que LL – 30.											

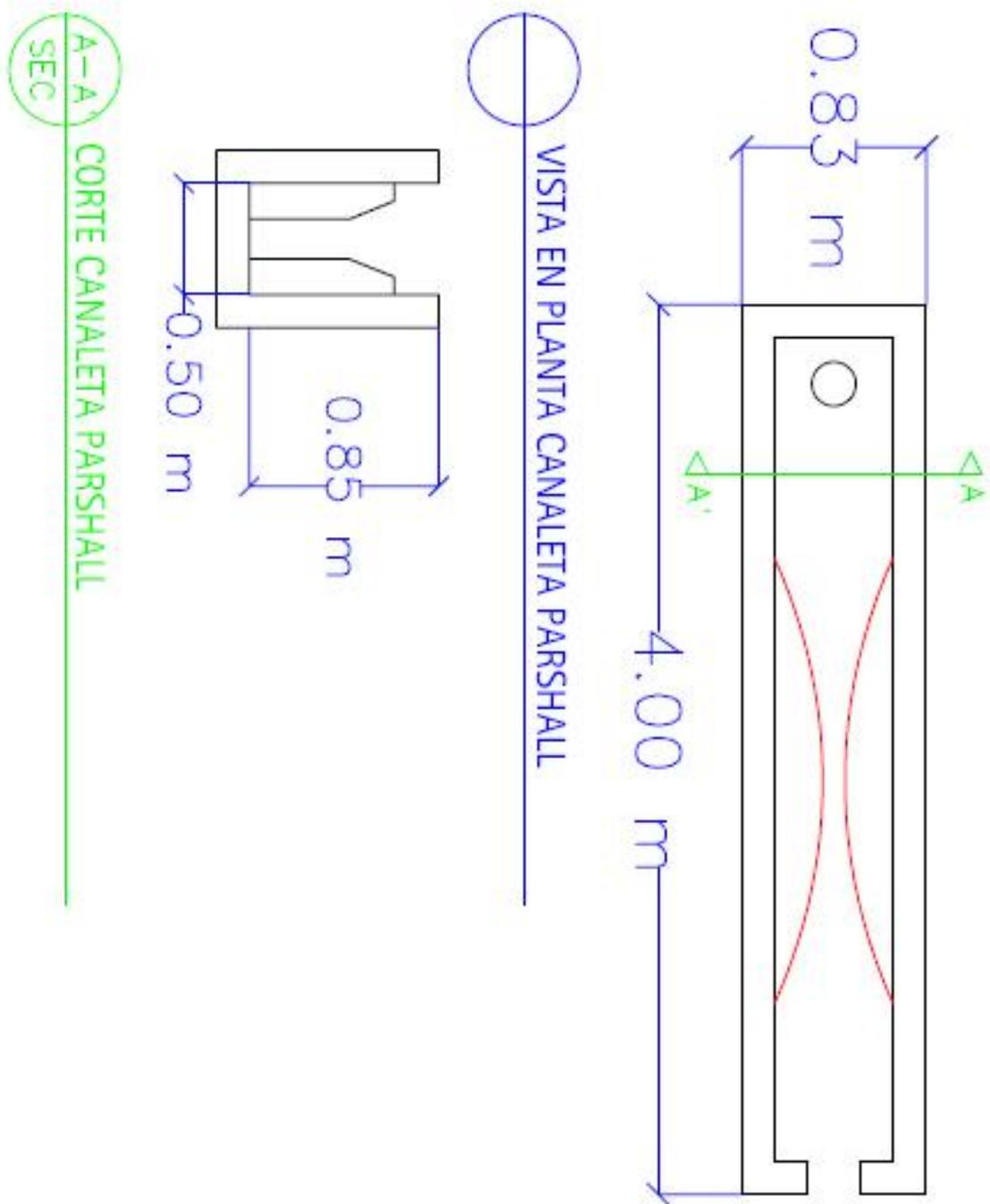
2. Tanque individual de floculación



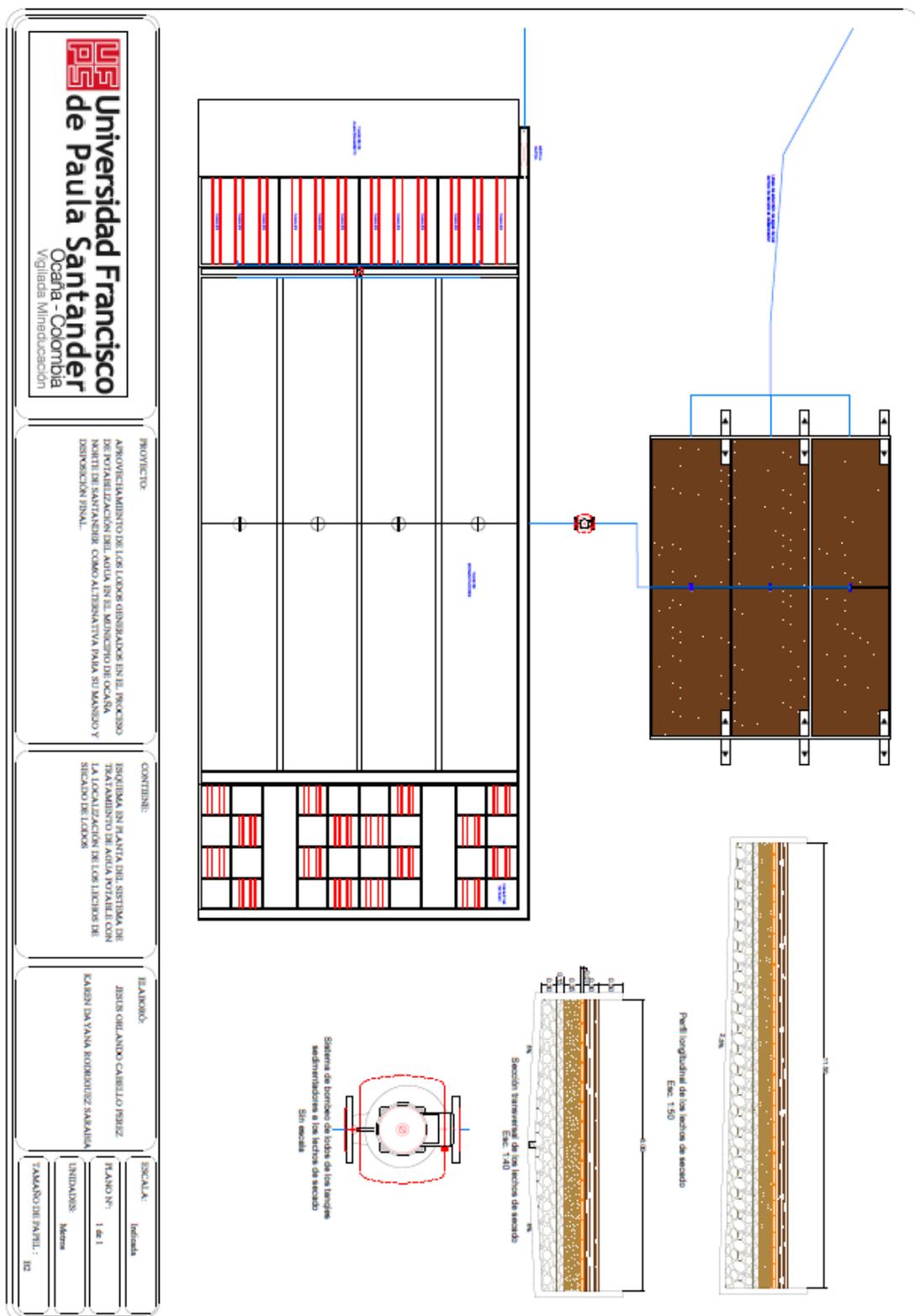
3. Tanque de floculación completo



4. Esquema general de mezcla rápida



Apéndice F. Plano de lecho de secado.



Apéndice G. Recursos del proyecto.

Recursos humanos

Para el desarrollo del proyecto de investigación se contó con la participación directa:

- Jesús Orlando Cabello Pérez (Investigador)
- Karen Dayana Rodríguez Sarabia (Investigadora)
- M. Sc. Luis Carlos Fonseca (director del proyecto)

Recursos institucionales

Los recursos institucionales que ayudaron a desarrollar esta investigación son: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y empresa de servicio público de Ocaña (ESPO S.A).

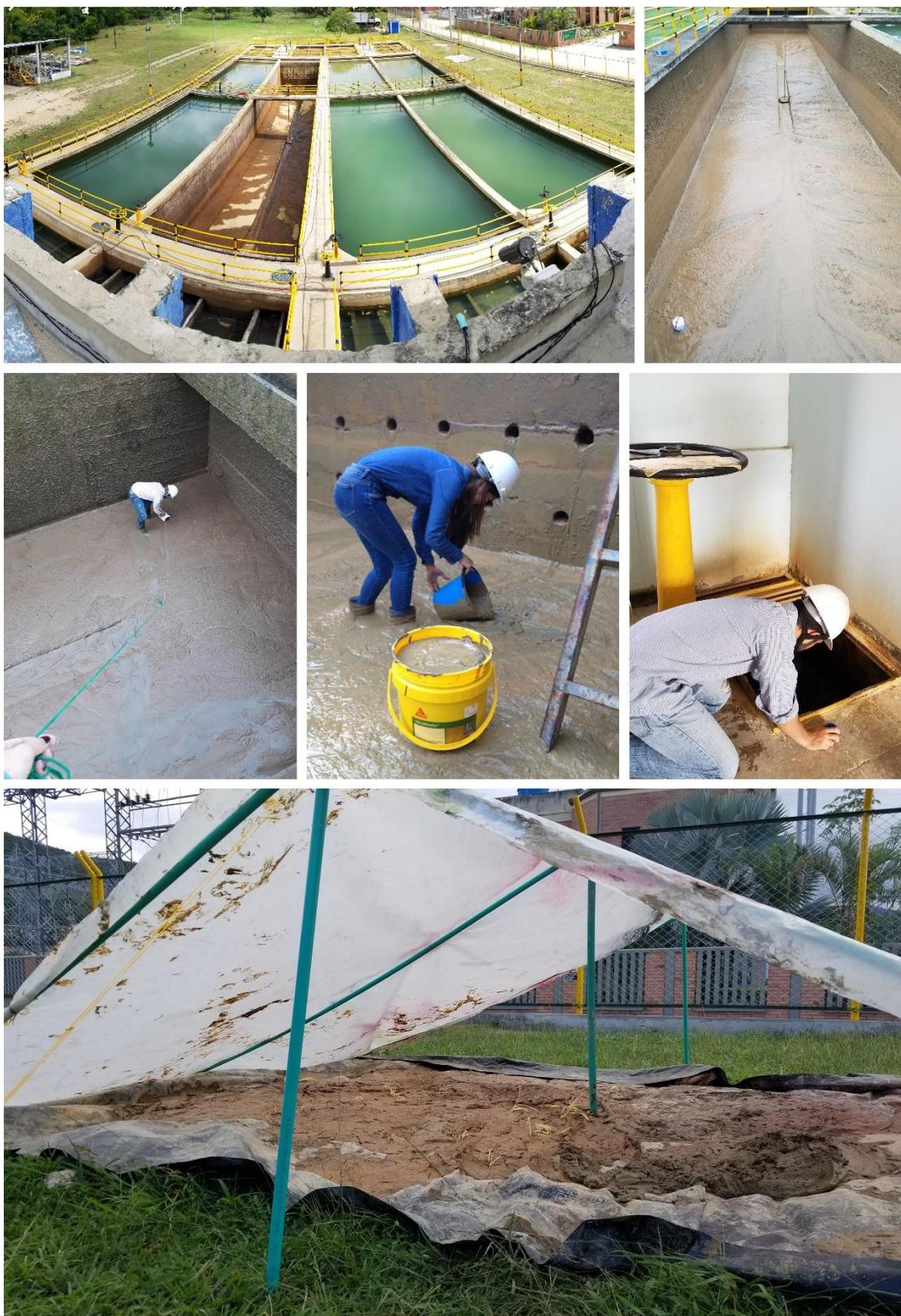
- Equipos de laboratorio
- Equipos de computo
- Papelería

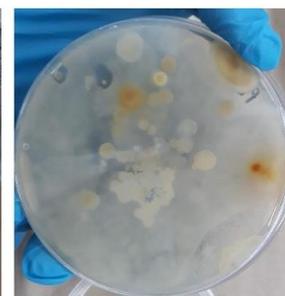
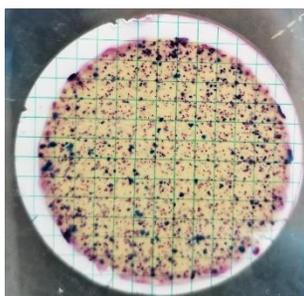
Recursos financieros

Presupuesto general proyectos de contrapartida

<i>I. Gastos De Inversión</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor Unitario</i>	<i>Total, Proyecto</i>
1. Gastos de personal				
1.1. Director o coordinador del proyecto	64	Hora	80.000	5'120.000
1.2. Investigadores	8	Mes	2'000.000	16'000.000
Subtotal de gastos de personal				21'120.000
2. Gastos Generales				
2.1. Papelería y útiles de escritorio	-	-	-	90.000
2.2. Tecnológico (computador)	1,280	Hora	1.000	1'280.000
2.3. Viáticos y gastos de viaje	10	Viaje	12.000	120.000
2.4. Toma de muestras y caracterización de los lodos.				
2.5. Recipientes	6	Recipiente	7.000	42.000
2.6. Contratación de laboratorio de suelos Terrallanos (análisis fisicoquímico)	1	Muestra	150.000	150.000
2.7. Lecho de secado	1	Material	170.000	170.000
2.8. Contratación de laboratorio UFPSO (análisis químico)	5	Muestra		
2.9. Contratación de laboratorio UFPSO (análisis físico)	5	Muestra		
3.0.. Contratación de laboratorio UFPSO (análisis microbiológico)	5	Muestra		
Subtotal de Gastos Generales				1'852.000
3. Gasto de infraestructura				
3.1. Diseño	1	Diseño	17'000.000	10'000.000
Subtotal de gastos de infraestructura				10'000.000
TOTAL	32'972,000			

Apéndice H. Trabajo en campo.







Apéndice I. Socialización del proyecto.

RÍO ALGODONAL: CARACTERIZACIÓN DE LOS VERTIMIENTOS DE LODOS ACTIVADOS EN EL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN DE LA PTAP DE ESPO S.A. OCAÑA NORTE DE SANTANDER

Est. Jesús Cabellos Pérez; Est. Karen Dayana Rodríguez Sarabija; Est. Carlos Mario Narváez Cueto; MSc. Diana Milena Valdés Solano; Ing. Luis Carlos Fonseca Herreño.



Semana Internacional de la CIENCIA

Retos de la ciencia en el siglo XXI
2018

Resumen: La seguridad hídrica es una estrategia que fortalece los componentes ambientales y la gestión del riesgo. El río Algodonal es una cuenca hidrográfica que abastece la región del Catatumbo y a la empresa de servicios públicos de Ocaña ESPO S.A., en la cual esta fuente está siendo afectada por los vertimientos de los lodos que son generados en el proceso de potabilización, por lo que se hace necesario brindar a este una seguridad hídrica, para que sea adecuada en cantidad y calidad beneficiando así los asentamientos humanos y ecosistemas. La sostenibilidad de las PTAP puede ser afectada por asuntos financieros o políticos, desplazando asuntos como disposición final y aprovechamiento de los residuos.

Introducción:

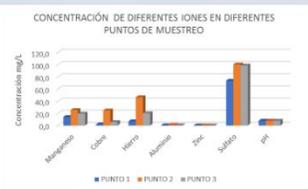
De acuerdo a la estadística 2.400 millones de personas viven sin acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas, y casi 700 millones de personas no reciben su agua potable de fuentes de agua mejoradas, por lo cual es necesario un tratamiento (WHO, 2017). La potabilización y saneamiento del agua son de vital importancia para el bienestar humano, prestando un respaldo a la salud y los medios de subsistencia y ayudando a crear entornos saludables. Ingerir agua contaminada podría causar efectos adversos en la salud humana a través de enfermedades como la diarrea, por lo que es importante un tratamiento adecuado (UNWater, 2017). Una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) se encarga de prestar el servicio de potabilización del agua pero puede producir miles de toneladas en el año de lodos, su falta de manejo lleva a que algunas plantas viertan estos residuos directamente a fuentes hídricas (Ahmad, Ahmad, & Alam, 2016). Es importante resaltar que los vertimientos de estos residuos directamente en las fuentes hídricas podrían plantear problemas significativos, debido a que estos residuos son compuestos orgánicos e inorgánicos y genera depósitos de lodos en los tramos lentos del cauce, incrementando la turbiedad y el color de las aguas receptoras, esto ocasiona problemas medioambientales y hay que considerar como extraer los residuos sólidos antes de su vertimiento (Quirós, 2008). Estos procesos son necesarios pero la sostenibilidad de estos puede ser afectada por factores económicos o políticos, que no permiten un manejo sostenible, aunque, según la normatividad colombiana es necesario un tratamiento y disposición final adecuado del os lodos que se generan en el tratamiento de acuerdo con la resolución 0330 de 2017, en el artículo 125.

Metodología:

Se tomaron tres muestras aleatorias los días de lavado de los sedimentadores de la PTAP, se depositaron en baldes cilíndricos realizando secado al medio ambiente, luego de ello se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos en los laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Se analizaron parámetros como DQO, DBO, cobre, aluminio, zinc, sulfato, manganeso, sólidos, pH, coliformes y Escherichia coli.

Resultados:

CONCENTRACIÓN DE DIFERENTES IONES EN DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO



TENDENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE DEBOS Y DQO EN DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO



TENDENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO



CONCENTRACIÓN DE COLIFORMES E COLI DE DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO



Conclusiones:

Dentro de la caracterización de los lodos se encontró altos valores que superan el límite permisible del decreto 1594 de 1984 para el recurso humano y uso doméstico tales como cobre, coliformes, E. Coli, ocasionando problemas a la salud de los habitantes cercanos a la fuente hídrica.

Referencias:

Ahmad, T., Ahmad, K., & Alam, M. (2016). Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. *Journal of Cleaner Production*.

UNWater. (12 de Abril de 2017). *UNWater*. Obtenido de UN-Water GLAAS 2017: Financing universal water, sanitation and hygiene under the Sustainable Development Goals: <http://www.unwater.org/publications/un-water-glaas-2017-financing-universal-water-sanitation-hygiene-sustainable-development-goals/>

WHO. (2017). *UN-Water global analysis and assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS) 2017 report: financing universal water, sanitation and hygiene under the sustainable development goals*. World Health Organization. Geneva: World Health.

Quirós, F. R. (Junio de 2008). Lodos producidos en el tratamiento del agua potable. Obtenido de <http://www.tecnicaindustrial.es/TI/portal/a-222-lodos-producidos-tratamiento-agua-potable.aspx>






UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA



Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia

ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA LOS LODOS GENERADOS EN EL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE ESPO S.A. "SEDE ALGODONAL" OCAÑA, NORTE DE SANTANDER
¹Jesus Orlando Cabello P. 1, ²Karen Dayana Rodriguez S. 2, ³Carlos Mario Narvaez C. 3

^{1,2,3}Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña – Colombia

^{1,2,3}Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente

^{1,2,3}Tecnologías Limpias

Introducción

En la PTAP E.S.P.O. S.A. se implementa un tipo de tratamiento convencional, en el cual se generan en la operación, lodos residuales que son vertidos aguas abajo del río Algodonal, de donde es captada el agua cruda; es importante resaltar que las normas medioambientales como el RAS (2000) son cada vez más estrictas en cuanto a las características de estos vertidos, ya que establecen los requisitos mínimos para el tratamiento y manejo de los lodos producidos en los procesos de potabilización.

En la actualidad, existen estudios enfocados en alternativas para la transformación del lodo en un material útil (Torres, Hernández, & Paredes, 2012), como la fabricación de cemento, ladrillos, materiales cerámicos y para uso agrícola, debido principalmente a que cada vez son menos las áreas aptas para la construcción de sitios de disposición final (Grajales, Monsalve, & Castaño, 2006), por lo cual una gestión adecuada de los lodos es fundamental para el funcionamiento de cualquier planta de tratamiento de agua potable (PTAP).

Objetivos

Objetivo general.

Implementar una alternativa de producción más limpia para los lodos generados en el proceso de sedimentación de la planta de tratamiento de agua potable ESPO S.A. "sede algodonal" Ocaña, Norte de Santander.

Objetivos Específicos.

- Analizar las características fisicoquímicas de los lodos generados en el proceso de potabilización
- Identificar una alternativa viable con los lodos residuales.

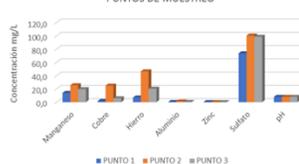
Metodología

Se hizo recolección de los lodos de forma aleatoria en los tanques de sedimentación y se llevaron a cabo análisis fisicoquímicos en el laboratorio de aguas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, para su posterior caracterización. Para la implementación del ladrillo, el lodo fue puesto al sol por un tiempo de 15 días para su posterior secado en un molde de madera con dimensiones de 27 cm de largo, 13 cm de ancho y 7 cm de alto, seguido de esto se llevó al horno para su cocción final.



Como resultados esperados se obtiene como alternativa, el darles un uso adecuado a estos lodos para la fabricación de ladrillos artesanales, mostrando de esta forma un prototipo de ladrillo para construcción.

CONCENTRACIÓN DE DIFERENTES IONES EN DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO



Resultados

En la caracterización fisicoquímica de los lodos se encontró alteración en las concentraciones de los parámetros de cobre, hierro y manganeso, produciendo de esta forma afectación en la fuente hídrica del río Algodonal y población aledaña, por tal motivo estos lodos deben ser manejados de forma adecuada, ya sean dándoles una disposición final o un uso apropiado. Así, se espera con este trabajo, consolidar un prototipo de ladrillo a partir de lodos residuales de dicha PTAP, que pueda ser fácilmente fabricado.

Conclusiones

- RAS. (Noviembre de 2000). Ministerio de Desarrollo Economico Direccion de Agua Potable y Saneamiento Basico. *Reglamento Tecnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico RAS-2000 Titulo A*. Bogota D.C., Colombia. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf
- Torres, P., Hernández, D., & Paredes, D. (2012). Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 145_153.
- Grajales, S. J., Monsalve, J. A., & Castaño, J. M. (2006). Programa de Manejo Integral de los Lodos Generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et Technica*. Obtenido de file:///C:/Users/Owner/Downloads/Dialnet-PROGRAMADEMANEJOINTEGRALDELOSLODOSGENERADOSENLA-4830613.pdf

Referencias



CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES EN TIEMPO DE VERANO GENERADOS EN EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE OCAÑA ESPO S.A.

¹Jesús Cabello Pérez¹, ²Karen Dayana Rodríguez², ³Diana Milena Valdes Solano³
^{1,2,3}Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña - Colombia
^{1,2}Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente
^{1,2}Grupo de investigación GI@SD

INTRODUCCIÓN

En el tratamiento del agua cruda para consumo humano se generan en la operación lodos residuales, los cuales al no ser manejados correctamente pueden generar problemas sociales, ambientales y económicos. En la actualidad, existen estudios enfocados en alternativas para la transformación del lodo en un material útil, debido principalmente a que cada vez son mayores las áreas aptas para la construcción de sitios de disposición final [1] por lo cual una gestión adecuada de los lodos es fundamental para el funcionamiento de cualquier planta de tratamiento de agua potable (PTAP).

En los procesos de potabilización de algunas empresas de servicios públicos se implementa un tratamiento estándar, donde se utilizan coagulantes químicos como el sulfato de aluminio tipo B, este tratamiento genera un residuo denominado 'lodos' en los diferentes procesos de floculación, sedimentación y filtración, excepto en la etapa de coagulación, donde estos se deben tratar como residuos especiales debido a que las sustancias presentes en el agua sin tratar tales como partículas en suspensión, arenas, arcillas, coloides, materia orgánica y microorganismos, son retenidos en los lodos.

En la PTAP E.S.P.O. S.A. se implementa un tipo de tratamiento convencional, abasteciéndose de la cuenca hidrográfica del río Algodual, en la cual esta fuente está siendo afectada por los vertimientos de los lodos que son generados en el proceso de potabilización, siendo esta una de las principales fuentes hídricas del departamento Norte de Santander. El municipio de Ocaña, incluyendo la Playa y Albergó, forman parte de esta cuenca, permitiendo así dimensionar la importancia de todos los procesos económicos, sociales y ambientales que se generan en estos centros poblados [2].

Los vertimientos de residuos de una PTAP en las fuentes hídricas llegan a plantear problemas significativos, debido a que estos residuos son principalmente orgánicos e inorgánicos y van formando depósitos de lodos o fangos en los ramos lechos del cauce, a la vez que aumentan la turbiedad y el color de las aguas receptoras, planteando problemas medioambientales que hay que considerar; por lo tanto, se hace necesario evaluar los residuos sólidos tales de vertidos a los cauces [3]. Además, es importante resaltar que las normas medioambientales como el RAS [4] son cada vez más estrictas en cuanto a las características de estos vertidos, ya que establecen los requisitos mínimos para el tratamiento y manejo de los lodos producidos en los procesos de potabilización.

OBJETIVOS

Objetivo general

Caracterizar los lodos residuales en tiempo de verano generados en el proceso de potabilización del agua en la empresa de servicios públicos de Ocaña ESPO S.A.

Objetivos específicos

- Analizar las características físicoquímicas y microbiológicas de los lodos generados en el proceso de potabilización
- Evaluar los lodos según el decreto 1594 de 1984 determinando su afectación en los diferentes usos del agua

METODOLOGÍA

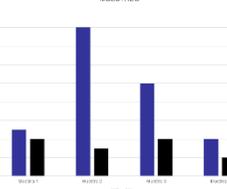
Se hizo necesario recolectar las muestras e información necesaria a cerca de la operación de la planta de agua potable y de la producción de lodos en sus diferentes procesos, dentro de este ensayo se analizaron las características físicoquímicas y microbiológicas de los lodos generados en el proceso de potabilización del agua de la empresa de servicios públicos de Ocaña ESPO S.A. para determinar su composición. La ejecución del ensayo de laboratorio se hizo de la siguiente manera: se tomaron tres muestras aleatorias los días de lavado de los sedimentadores de la PTAP, se depositaron en baldes cilíndricos realizando lavado al sol, luego de ello se llevaron a respectivos análisis físicoquímicos y microbiológicos en los laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Análisis físicoquímico y microbiológico. Siguiendo la metodología de los autores Gutiérrez, Ramírez, Rivas, Linares, A. Paredes [5] se tomaron los siguientes parámetros: pH, DQO, DBO, SSI, SVI, SS, Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobalto, Zinc y Sulfato, asimismo, se realizó caracterización de Coliformes y F. coli.

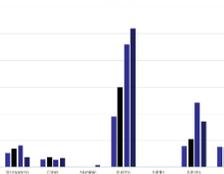


RESULTADOS

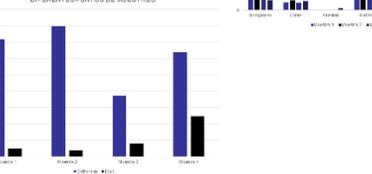
CONCENTRACION DE SÓLIDOS EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO



CONCENTRACION DE IONES EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO



CONCENTRACION DE COLIFORMES Y COLI EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO



CONCLUSIONES

La caracterización de los lodos muestra altos valores que superan el límite permisible del decreto 1594 de 1984 para el recurso humano y uso doméstico tales como cobre, nitrato, manganeso, coliformes, E. Coli. Es importante resaltar que los vertimientos de estos residuos ocasionan problemas significativos a los habitantes cercanos a la fuente hídrica, al igual que a la fauna, flora y vida acuática presente en la misma.

REFERENCIAS

- [1] S. J. Grajales, J. A. Monsalve y J. M. Castiño, «Programa de Manejo Integral de los Lodos Generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira», Ciencia e Ingeniería, 2006.
- [2] CORPONOR, 2010. [En línea]. Available: http://corponor.gov.co/publica_recursos/poasca/algodual/PLAN_DE_ORDENACION_Y_MANEJO_CUENCA_RIO_ALGODONAL.pdf.
- [3] F. R. Quirós, «Lodos producidos en el tratamiento del agua potable.» Técnica Industrial, 2008.
- [4] RAS. Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, Bogotá D.C., 2000.
- [5] J. Gutiérrez, A. Ramírez, R. Rivas, H. Linares y D. Paredes, «Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua.» Redalyc, p. 15, 2014.

