



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA MEDIO AMBIENTE

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO
PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN MEDIO AMBIENTE**

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**IMPLEMENTACIÓN DE BIOFILTRO PARA REMOCIÓN SÓLIDOS
EN AGUAS RESIDUALES DE PROCESAMIENTO DE ALMIDÓN
YUCA, ALREDEDOR DE COMUNIDAD SAN PABLO TARUGO-
CHONE, MANABÍ**

AUTORES:

**SALTOS ANCHUNDIA JULIÁN ALEJANDRO
ZAMBRANO MORA JUAN DAVID**

TUTORA:

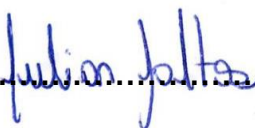
ING. FLOR MARÍA CÁRDENAS GUILLÉN, M.Sc.

CALCETA, FEBRERO 2021

DERECHOS DE AUTORÍA

Saltos Anchundia Julián Alejandro con cédula de ciudadanía 131219355-8 y Juan David Zambrano Mora, con cédula de ciudadanía 1315708642, declaramos bajo juramento que el trabajo de titulación: **IMPLEMENTACIÓN DE BIOFILTRO PARA REMOCIÓN SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES DE PROCESAMIENTO DE ALMIDÓN YUCA, ALREDEDOR DE COMUNIDAD SAN PABLO TARUGO-CHONE, MANABÍ** aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



.....

JULIÁN A. SALTOS ANCHUNDIA



.....

JUAN D. ZAMBRANO MORA

CERTIFICACIÓN DE TUTORA

Flor María Cárdenas Guillén certifica haber tutelado el proyecto: **IMPLEMENTACIÓN DE BIOFILTRO PARA REMOVER SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES DE PROCESAMIENTO DE ALMIDÓN-YUCA, ALREDEDOR DE SAN PABLO, CHONE, MANABÍ**, que ha sido desarrollada por Saltos Anchundia Julián Alejandro y Zambrano Mora Juan David, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.




ING. FLOR MARÍA CÁRDENAS GUILLÉN, M.Sc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han APROBADO el trabajo de titulación denominado: **IMPLEMENTACIÓN DE BIOFILTRO PARA REMOVER SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES DE PROCESAMIENTO DE ALMIDÓN-YUCA, ALREDEDOR DE SAN PABLO, CHONE, MANABÍ**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Saltos Anchundia Julián Alejandro y Zambrano Mora Juan David, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente de acuerdo al reglamento **PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



Ing. Silvia L. Montero Cedeño, M.Sc.
MIEMBRO



Ing. José M. Giler Molina, M.Sc.
MIEMBRO



Ing. Carlos R. Delgado Villafuerte, Mg. C.A.
PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por la vida y el cuidado, por la oportunidad de cumplir este sueño tan anhelado de ser profesionales, para servirle de una mejor manera.

A nuestros padres y familiares quienes a lo largo de todo este trayecto universitario nos han brindado su apoyo incondicional y sobre todo nos han motivado en nuestra formación universitaria.

A nuestra tutora de tesis, la Ing. Flor María Cárdenas, por ser nuestra guía, por ese apoyo brindado de manera incondicional para el desarrollo de nuestro trabajo de titulación.

De igual manera agradecer a los miembros del tribunal Ing. Carlos Ricardo Delgado Villafuerte, Ing. José Giler y a la Ing. Silvia Montero Cedeño, ya que sin su dedicación, visión crítica y aprobación de esta investigación nada de esto sería posible.

A los(as) docentes que aportaron con sus conocimientos y apoyo a lo largo de esta carrera de Ingeniería Ambiental, y a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

DEDICATORIA

A nuestros padres, por su sacrificio para brindarnos educación y apoyo en nuestra formación como seres humanos.

A nuestra familia en general que de muchas maneras nos apoyaron para llegar a esta meta tan anhelada.

A la memoria de quienes nos apoyaron y hoy no están con nosotros.

TABLA DE CONTENIDOS

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTORA.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
TABLA DE CONTENIDOS	vii
CONTENIDO DE TABLAS	x
CONTENIDO DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xi
PALABRAS CLAVE	xi
ABSTRACT.....	xii
KEY WORDS	xii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Hipótesis.....	4
1.4.1 Variables	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Agua Residual	5
2.2 Filtro Biológico	5
2.3 Diseño de un filtro biológico vertical de flujo descendente	6
2.4 Materiales Filtrantes.....	7
2.4.1 Aserrín.....	7

2.4.2	Cascarilla De Arroz	7
2.4.3	Materia Orgánica.....	8
2.5	Eficiencia De Remoción De La Materia Orgánica.....	8
2.5.1	Demanda Biológica De Oxígeno (Dbo).....	9
2.5.2	Sólidos Suspendidos Totales	10
2.5.3	Sólidos Totales.....	10
2.5.4	Sólidos Disueltos Totales	11
2.5.5	Potencial De Hidrógeno.....	12
2.5.6	Turbidez	12
2.6	Normativa ecuatoriana para descarga de aguas residuales.....	13
2.7	Norma Inen para muestreo de calidad de agua	13
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....		16
3.1	Ubicación.....	16
3.2	Duración	16
3.3	Variables A Medir.....	16
3.3.1	Variable Independiente.....	16
3.3.2	Variable Dependiente	16
3.4	Métodos Y Técnicas	17
3.4.1	Métodos	17
3.4.2	Técnicas.....	17
3.5	Diseño Experimental.....	17
3.6	Manejo Del Experimento.....	18
3.6.1	Fase 1. Determinación del porcentaje de sólidos de las aguas residuales agroindustriales provenientes de las actividades productivas en la extracción de almidón de yuca.....	18
3.6.2	Fase 2. Diseño de un filtro biológico para la remoción de sólidos en aguas residuales agroindustriales de la extracción de almidón de yuca.....	19
3.6.3	Fase 3. Determinación de la eficiencia y el costo del filtro implementado.	20

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1 Determinación del porcentaje de sólidos de las aguas residuales agroindustriales provenientes de las actividades productivas en la extracción de almidón de yuca.	22
4.1.1 Potencial Hidrógeno (Ph)	22
4.1.2 Turbidez	23
4.1.3 Sólidos Suspendidos Totales	23
4.1.4 Sólidos Disueltos Totales	23
4.1.5 Sólidos Totales.....	23
4.1.6 DBO ₅	24
4.2 Diseño de un filtro biológico para la remoción de sólidos en aguas residuales agroindustriales de la extracción de almidón de yuca.....	24
4.2.1 Fabricación de filtro biológico vertical de flujo descendente.....	24
4.2.2 Construcción de los filtros biológicos.....	25
4.2.3 Análisis Estadístico	26
4.3 Determinación de la eficiencia y el costo del filtro implementado.	32
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
5.1 Conclusiones	36
5.2 Recomendaciones	36
BIBLIOGRAFÍA.....	38
ANEXOS.....	43

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1. Límites máximos permisibles para descargas de efluentes a cuerpos de agua dulce	13
Tabla 3.1. Factor de estudio.....	18
Tabla 3.2. Diseño experimental.....	18
Tabla 4.1. Resultados de la muestra y límites máximos permisibles de los parámetros en estudio.	22
Tabla 4.2. Resumen del experimento respecto a comparaciones múltiples entre tratamientos para el parámetro pH.....	29
Tabla 4.4. Análisis de Varianza.....	30
Tabla 4.5. Significancia de tratamientos para el parámetro de pH.	30
Tabla 4.6. Significancia de tratamientos para el parámetro de Turbidez	31
Tabla 4.7. Significancia de tratamientos para el parámetro de sólidos suspendidos totales.	31
Tabla 4.8. Significancia de tratamientos para el parámetro de sólidos disueltos totales.....	32
Tabla 4.9. Significancia de tratamientos para el parámetro de sólidos totales.....	32
Tabla 4.10. Costo del filtro biológico.	35

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 3.1. Ubicación de la zona de estudio.....	16
Figura 4.1. Diseño del filtro	25
Figura 4.2. Valores de pH de las aguas residuales de las semanas 1, 2 y 3... ..	27
Figura 4.3. Valores de turbidez de las aguas residuales de las semanas 1, 2 y 3.	27
Figura 4.4. Valores de SST de las aguas residuales de las semanas 1, 2 y 3. ..	28
Figura 4.5. Valores de SDT de las aguas residuales de las semanas 1, 2 y 3. ..	28
Figura 4.6. Valores de ST de las aguas residuales de las semanas 1, 2 y 3... ..	29
Figura 4.8. Filtro biológico implementado.....	33
Figura 4.9. Análisis de eficiencia, muestra inicial vs muestra final.....	34
Figura 4.10. Análisis de eficiencia, muestra inicial vs filtro final de pH	34

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito remover sólidos en aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca, mediante la evaluación de la incidencia de medios filtrantes de aserrín y cascarilla de arroz con una base de grava y arena de sílice. El experimento se realizó, bajo un diseño experimental completamente al azar, unifactorial, donde se planteó un total de cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, obteniendo 16 unidades experimentales (16 filtros). Se tomó muestras para cada filtro una vez por semana durante tres semanas, posteriormente fueron llevadas a laboratorio donde se hicieron análisis de turbidez, pH, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales y sólidos totales. Asimismo, se tomó muestra inicial del agua residual en su disposición final para determinar su porcentaje de sólidos y posteriormente ser comparados con el filtro final implementado y poder determinar la eficiencia del filtro. Para el filtro final se implementó el tratamiento ($Y_2 - H_2$) el cual contaba con una altura total del lecho de 0,40m y una composición de 0,30m de cascarilla de arroz, 0,05m de arena y 0,05m de grava, el mismo que alcanzó remociones de 72,9% de turbidez, 51,2% de SST, 45,2% de SDT, 61,1% de ST y 64,2% en la remoción de DBO.

PALABRAS CLAVE

Remoción de sólidos, agua residual, cascarilla de arroz, aserrín.

ABSTRACT

The aim of this paper study was to remove solids in wastewater from the process of extracting cassava starch, by evaluating the incidence of filter media of sawdust and rice husk with a gravel base and silica sand. The experiment was carried out under an experimental design completely at random, unifactorial, where a total of four treatments were proposed with four repetitions each, obtaining 16 experimental units (16 filters). Samples were taken for each filter once a week for three weeks, and were then taken to the laboratory for turbidity, pH, total suspended solids, total dissolved solids and total solids. In addition, the initial sample of the waste water in its final arrangement was taken to determine its percentage of solids and then to be compared with the final filter implemented and to be able to determine the efficiency of the filter. For the final filter, the treatment (Y2 - H2) was implemented, which had a total bed height of 0,40m and a composition of 0,30m of rice husk, 0,05m of sand and 0,05m of gravel, the same that reached removals of 72,9% turbidity, 51,2% TSS, 45,2% TDS, 61,1% TS and 64,2% BOD removal.

KEY WORDS

Removal of solids, waste water, Rice husk, sawdust.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Latinoamérica está experimentando crecimiento de la actividad industrial en los últimos años, y no es desconocido que la regulación en esta región es poco perceptible. Las actividades industriales de mayor impacto social en los países hispanohablantes son aquellas que están asociadas a la agricultura. Industrializar un producto agrícola beneficia a la población que históricamente se ha dedicado a la agricultura, es decir, los estratos sociales de clase baja que, al otorgar un nuevo valor a sus productos, generan nuevas oportunidades de mercado con mejores precios que a su vez pueden motivar una mayor producción y mejor calidad de vida (Zambrano, 2019).

Conocida como el "alimento de los pobres" por las regiones donde se da su mayor producción, la yuca, es uno de los productos agrícolas que ha adquirido valor en los últimos años. La producción en Latinoamérica es liderada por Brasil, que produce 24,4 millones de toneladas aproximadamente, y la producción es común en la región dada las facilidades de cultivo para productores minoristas y la capacidad de adaptación de la especie (Howeler, Lutaladio y Thomas, 2013).

El amplio mercado, al cual, la industria de la yuca se enfrenta en la actualidad, genera expectativas para la explotación de esta como materia prima debido a una gran variedad de productos que son muy utilizados en la sociedad. El almidón de yuca se utiliza en la industria alimenticia, así como también se usa para aumentar la consistencia, la solidez y la durabilidad de las hojas en la industria del papel. En la industria textil se usa como engomado temporal y permanente de tejidos, incrementando la resistencia y textura de la tela; además este almidón es utilizado en la industria farmacéutica (Alarcón y Dufour, 1998).

Datos de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación (FAO) y la agricultura indican que, en Ecuador, en el año 2006, se registró el establecimiento de aproximadamente 230 unidades productoras de almidón de yuca semi-mecanizadas o artesanales en la provincia de Manabí. La naturaleza

artesanal de esta actividad y la falta de regulación generan serios problemas ambientales, como el inadecuado manejo de las descargas de aguas residuales procedentes de los procesos semi-mecanizados de extracción del almidón (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Los ríos Bejuquillo, Tarugo y Casagrande, de Canuto (una zona destacada en la producción de yuca en la provincia de Manabí), son afectados por aguas residuales provenientes de los procesos de extracción del almidón, afectando luego al río Canuto, que es receptor de los ríos antes mencionados.

El incremento de la producción semi-mecanizada de almidón de yuca alrededor de la comunidad "San Pablo de Tarugo", es proporcional a los volúmenes de descargas de aguas residuales provenientes de esta actividad; por esta razón es urgente implementar medidas correctivas acordes con la realidad económica de la comunidad productora.

Ante lo expuesto se plantea la siguiente interrogante:

¿Cómo reducir los sólidos de aguas residuales provenientes de la extracción semi-mecanizada de almidón de yuca de las rallanderías, alrededor de la comunidad de "San Pablo de Tarugo" de Canuto?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Desde lo teórico la investigación es importante, ya que según FAO (2006), el procesamiento de yuca para obtener almidón, al igual que cualquier otra actividad industrial, genera también impactos sobre el medio ambiente. La "ralladoras de yuca", como son conocidas las industrias productoras de almidón de yuca, generan residuos sólidos y líquidos. En particular, la producción de almidón de yuca implica el uso de grandes cantidades de agua en las etapas de lavado y pelado de la yuca y, en especial, en la etapa de separación del almidón (colado o tamizado). La descarga de estas aguas sin tratamiento previo puede causar serios trastornos en la calidad de agua en cuerpos de agua superficiales (lagos y ríos).

Se producen aguas residuales en tres momentos: en la etapa de lavado de

raíces, de rallado y en el de sedimentación. En el área de estudio se obtienen alrededor de 6000 qq (272,7 tm) de almidón por año y requiere de aproximadamente 36000 qq (1636,4 tm) de raíces frescas, con una tasa de conversión de 6:1, cuando se utilizan las variedades mejoradas (INIAP PORTOVIEJO 650 e INIAP PORTOVIEJO 651) entregadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP en 1992 y 1997, respectivamente (Cobeña & Cárdenas, 2010).

Desde lo legal, esta investigación responde a los artículos 14 y 15 de la constitución política de la república del Ecuador (2008), que reconocen el derecho de la población a vivir en un ambiente sano, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*; así como también el uso de tecnologías limpias y de bajo impacto. Conforme a los objetivos 3, 5 y 6 del Plan Nacional de Desarrollo “Toda Una Vida” (SENPLADES, 2017), este proyecto contribuye a garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible, de manera redistributiva y solidaria; así como también desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el buen vivir rural; de la misma manera, acorde con la Ley Orgánica de Recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua del Ecuador (2014), en su artículo 57, este proyecto reconoce que es derecho de todas las personas disponer de agua limpia, salubre, aceptable, accesible y asequible; A través de este proyecto será beneficiada la comunidad, ya que los moradores utilizan las aguas del río para la agricultura, ganadería, turismo, entre otras actividades. Por otra parte, la yuca constituye uno de los factores con mayor aporte al desarrollo de la economía del sector.

Desde lo ambiental, el factor ecológico y la agricultura serán beneficiados debido a que la disminución de la carga orgánica posterior al tratamiento de las aguas residuales permitirá reutilizarlas en los cultivos, haciendo sostenible la producción de estas rallanderías.

Desde lo práctico, social y económico es relevante por cuanto la descarga de aguas residuales de estas “pymes” dedicadas a la producción de almidón

alrededor de la comunidad San Pablo de Tarugo, requiere de estudios y diseño de filtros que permitan disminuir los niveles de materia orgánica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un biofiltro para remover sólidos en los efluentes provenientes del procesamiento de almidón de yuca, de las rallanderías alrededor de la comunidad de San Pablo de Tarugo, Canuto, Chone.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar sólidos en las aguas residuales agroindustriales provenientes de las actividades productivas en la extracción de almidón de yuca.
- Implementar a escala piloto un filtro biológico para la remoción de materia orgánica en aguas residuales agroindustriales de la extracción de almidón de yuca.
- Determinar la eficiencia y el costo del filtro biológico.

1.4 HIPÓTESIS

El biofiltro permitirá remover un porcentaje mayor a 50% de los parámetros en estudio en las aguas residuales agroindustriales del procesamiento de almidón de yuca, de las rallanderías alrededor de la comunidad de San Pablo de Tarugo, Canuto, Chone Manabí.

1.4.1 VARIABLES

1.4.1.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Biofiltro (medio filtrante)

1.4.1.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Porcentaje de remoción de sólidos (50%)

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 AGUA RESIDUAL

Fernández A. (2012) denomina “agua residual”, aquella que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. Sin embargo, pueden servir como suministro para otro individuo. Las aguas producidas en los procesos de refrigeración no son estimadas en esta categoría. Un estudio realizado por Torres, Rodríguez, y Uribe (2003), afirma que las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca pueden variar significativamente en su composición, tanto en calidad como en cantidad de residuos suspendidos y disueltos; estas fluctuaciones se originan en factores como la madurez del tubérculo, tiempo de almacenaje y el tipo de procesamiento, entre otros. Pese a estas variables, generalmente estas aguas presentan una elevada carga orgánica y por ende la misma magnitud de sólidos y otros compuestos tóxicos.

Informes de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA, 2016) en el país indican que solamente el 12% de las aguas que se usan para el consumo humano reciben el adecuado tratamiento antes de ser descargas a los cuerpos de agua. De acuerdo con los estudios realizados por esta entidad, las cuencas hidrográficas de Guayas y Manabí tienen un alto grado de contaminación, producto de las descargas de las aguas provenientes de los hogares y las industrias, mientras que, en la región amazónica, los cuerpos de agua son menos contaminados por la baja densidad poblacional. La descarga de aguas residuales son unas de las mayores preocupaciones debido a la afectación que pueden generar a los mares, ríos, lagos, lagunas y esteros, ya que la composición de estas aguas posee efectos perjudiciales para la salud, así como también para la flora y la fauna.

2.2 FILTRO BIOLÓGICO

Los filtros biológicos, según Galindo, Toncel y Rincón (2016), son reactores de lecho fijo, utilizados para reducir materia orgánica disuelta aprovechando microorganismos que se encuentran sobre la superficie del material de soporte.

Galindo adiciona que estos filtros son ventajosos dado que resisten a las variaciones de caudal que puedan presentarse en el sistema; además presentan bajas pérdidas de sólidos biológicos, no requieren inóculo para su puesta en marcha, permite diseñar con mayor libertad y pueden ser aplicados a aguas concentradas o diluidas. Acorde con la OPS (2005) existen filtros biológicos de diferentes tipos y funcionamientos, la selección de estos varía en función de las características del agua a depurar.

Las partes de un filtro biológico dependen de las características del agua residual a tratar; sin embargo, Blacio y Palacios (2011) entre otros autores, concuerdan en que generalmente estos filtros presentan 4 partes: Una entrada o afluente, un lecho o medio filtrante, un medio de soporte o sistema de drenaje y una salida o efluente. Adicionalmente este sistema, según Blacio y Palacios (2011) cuenta con una biopelícula que se forma luego de la puesta en marcha de este y los respectivos mecanismos de control tales como válvulas reguladoras de caudales, suministros de aire, entre otros.

El lecho filtrante juega el papel principal en el sistema; de acuerdo con Galindo, Toncel y Rincón (2016) el material de soporte para el lecho debe estar conformado por rocas de alta porosidad y diversidad geométrica para garantizar la adherencia de los microorganismos, la formación de la biopelícula y el mayor contacto de esta con la materia orgánica potenciando el funcionamiento del filtro.

2.3 DISEÑO DE UN FILTRO BIOLÓGICO VERTICAL DE FLUJO DESCENDENTE

Guzmán y Vélez (2018), desarrollaron un dimensionamiento en filtros para disminuir la carga orgánica en aguas residuales. Este dimensionamiento fue utilizado obteniendo remoción de sólidos. Siguiendo la recomendación de estos autores, se probará este mismo diseño con medios filtrantes diferentes a los propuestos en su investigación. Las dimensiones especificadas son; 0,50m de longitud y 0,1016 m de diámetro para cumplir con los parámetros requeridos para la filtración.

2.4 MATERIALES FILTRANTES

Existen varios materiales que pueden ser usados como medios de filtración para depuración durante el tratamiento de agua residuales, entre los que se destacan la cascarilla de arroz, el estropajo, el aserrín, la grava y la arena (Fernández, Avilés, Fernández, & Calero, 2016).

2.4.1 ASERRÍN

El aserrín es el polvillo o residuo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada; este contiene partículas de madera producidas durante el proceso y manejo de la misma, paneles contrachapados y/o aglomerados. En el proceso de aserrado, además del polvo se genera también la viruta, que es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral (Flores & Reyes, 2013).

Según Fernández; Avilés; Fernández y Calero (2016), manifiestan que el aserrín generado por la industria primaria de la madera es considerado en la mayoría de los países como un residuo del sector forestal, el cual es dispuesto al medio, convirtiéndose en una severa fuente de contaminación que afecta tanto a las corrientes de aguas superficiales como a los asentamientos poblaciones ubicados en el entorno de los aserraderos. Sin embargo, este mal llamado “residuo” constituye una apreciada fuente de materia prima para países desarrollados, reportándose más de 12 productos elaborados a partir del mismo.

2.4.2 CASCARILLA DE ARROZ

De acuerdo con los estudios realizados por Saavedra, Ortíz Pacaya y Herrera (2014) la producción de cultivo de arroz de la especie *Oryza Sativa* es una práctica muy antigua a nivel mundial. En nuestro país, la mayor comercialización y consumo se dio a mediados del siglo XIX, este cultivo se desarrolló inicialmente en las provincias de Esmeraldas, Guayas y Manabí, y con el paso de los años logró comercializarse en la región Sierra. Datos de la FAO (2018), indican que el Ecuador ocupa el puesto N° 26 a nivel mundial en la producción de arroz.

Datos del MAGAP 2010 informan, que: el Ecuador produjo 1.132.267 toneladas

(Tm.), ya que cuenta con una superficie sembrada de 382.230 hectáreas (Ha), de la que se cosecha 363.119 (Ha) y rinde 3,12 (Tm/Ha), lo que representa una producción nacional del 0,28% (valor aproximado) a nivel mundial (INEC, 2011). Las cantidades residuos que se generan en la producción de arroz a nivel nacional conviene ser aprovechados para reducir la contaminación por este producto, entre los usos que se le ha dado a la cascarilla de arroz se encuentran la producción de silicatos (Ahumada y Rodríguez, 2006) y biocombustibles (Álvarez, López, Amutio, Bilbao y Olazar, 2014), y como material para la producción de cemento puzolánico (Kurtis y Rodrigues, 2003; Romano y Rodríguez, 2008); otra alternativa que se le da a este subproducto es que es utilizado como material adsorbente en procesos de remoción de contaminantes (Rodríguez, Salinas y Ríos, 2012).

La cascarilla de arroz está compuesta por sílice y celulosa, cuyos elementos permiten que presente un buen rendimiento como combustible, lo cual contribuye al desarrollo de tecnologías limpias y por ende aporta de manera significativa a la conservación de los recursos naturales. La utilización de la cascarilla de arroz como sustrato orgánico en un humedal permite que aumente la alcalinidad y disminuya la acidez del agua, también ayuda a remover organismos patógenos y el material orgánico dentro de un tratamiento, el agua tratada con este subproducto puede ser empleada con la finalidad de optimizar la calidad del agua para reúso agrícola (Valverde, Sarria, & Monteagudo, 2007).

2.4.3 MATERIA ORGÁNICA

Se define como materia orgánica a un conjunto de compuestos de composición y estructura química bastante diferente, pero que presentan una característica común: su capacidad para reaccionar con el oxígeno en un proceso de oxidación. El oxígeno disuelto en agua oxida la materia orgánica (Fernández A. , 2012).

2.5 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

Es la capacidad que tiene un tratamiento para cumplir apropiadamente la función de remoción de la materia orgánica, se evalúa en relación a la disminución de la Materia orgánica (DBO) en el agua (Bravo E. , 2013) con la ecuación 2.1:

$$E = \frac{DBO\ AFLUENTE - DBO\ EFLUENTE}{DBO\ AFLUENTE} * 100 \quad [2.1]$$

Dónde:

E= eficiencia.

DBO afluente= concentración de DBO antes del tratamiento.

DBO efluente= concentración del DBO después del tratamiento.

2.5.1 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO)

La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) es usualmente usada como un indicador para medir la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para oxida de manera aerobia la materia orgánica presente en una muestra de agua, y se expresa generalmente en 5 días (OPSA -PUCE, 2017).

2.5.1.1 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO A LOS 5 DÍAS (DBO₅)

Expresa una indicación de la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable presente en el vertido e indirectamente es una medida aproximada del oxígeno que se necesitará para biodegradarlo; pues se puede suponer que para aguas de naturaleza urbana la DBO₅ representa las $\frac{2}{3}$ partes de las necesidades totales de oxígeno para la biodegradación de la materia carbonosa presente en el agua (Fuentes, 2012)

Para Raffo y Ruiz (2014) la DBO₅ es la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos en los primeros 5 días para biodegradar la materia orgánica, en situaciones cotidianas de laboratorio se determina como su nombre lo indica en 5 días a una temperatura de 20 °C, la cual es expresada en mg/l O₂, y consiste en colocar la muestra en una botella completamente cerrada y se procede a medir la concentración de OD al principio del ensayo y al cabo de 5 días, con la ecuación 2.2.

$$DBO_{final} = \frac{OD\ inicial - OD\ final}{p} \quad [2.2]$$

Dónde:

DBO= Demanda Bioquímica de Oxígeno

OD= Oxígeno Disuelto

P= Volumen de la muestra (Raffo y Ruiz, 2014).

2.5.2 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los (SS) son mayormente de origen orgánico; están formados por varios de los materiales más objetables adjuntos en el agua residual, la gran parte son desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel y células biológicas que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua (Argandoña y Macias, 2013).

De acuerdo con Beltrán y Rangel (2012) los sólidos suspendidos incluyen al plancton, minerales de arcilla, arena, limo, coloides agregados, materia orgánica e inorgánica y otros microorganismos. Proviene de varias fuentes y se dividen de acuerdo con la composición, que puede ser orgánica o inorgánica; estos se originan en fuentes alóctonas o autóctonas, de levantamiento de tierra o resuspensión.

De acuerdo con Calle y Jácome (2014), los sólidos suspendidos forman uno de los límites que se fijan a los efluentes en las plantas de tratamiento de aguas residuales, determinándose como la cantidad de material que es retenido después del filtrado de un determinado volumen de la muestra, a través de crisoles "Gooch" o los filtros de fibra de vidrio que utilizan como medio filtrante cuya membrana es de tamaño de poro de aproximadamente 1,2 micrómetros.

2.5.3 SÓLIDOS TOTALES

Torres A. (2011) afirma que los sólidos totales al ser materiales en suspensión y disueltos en el agua afectan de manera desfavorable a la calidad del líquido vital, de tal forma que los análisis de sólidos son esenciales en el control de procesos de tratamientos físicos y biológicos de aguas residuales, de esta forma se evalúa los estándares de las limitaciones que regulan su descarga, por tal razón el contenido de materia en suspensión es muy variable según los cursos de agua.

Chacón (2016) manifiesta que la determinación de los (ST) permite la evaluación

de los contenidos de materias disueltas y suspendidas que se encuentran en un cuerpo de agua, pero el resultado está dado por la temperatura y la duración de la desecación. Para poder determinar de manera correcta se realiza una medición cuantitativa del incremento de peso que experimente una cápsula previamente tarada tras la evaporación de una muestra y secado a peso constante entre 103°C a 10°C.

Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade (2010) mencionan que el peso aproximado de un metro cúbico de agua residual es igual a 1.000.000 de g; y esta contiene alrededor de 500 g de sólidos totales; que se pueden presentar en forma suspendida o en disolución y los resultados son expuestos en mg/L. De los aproximadamente 500 g de (ST), la mitad son sólidos disueltos de los cuales se encuentran elementos como: el calcio (Ca), sodio (Na) y compuestos orgánicos solubles, los 250 g restantes son insolubles. La parte insoluble consiste cerca de 125 g de material que pueda sedimentarse en 30 minutos si se deja el agua en condiciones de quietud y los 125 g restantes permanecerán en suspensión por mucho más tiempo.

2.5.4 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Toasa (2012), menciona que los sólidos disueltos totales es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o microgranular, que contiene el agua, las cuales se componen de sólidos coloidales y disueltos, su fracción coloidal consiste de partículas con diámetro de 10^{-3} a $1 \mu\text{m}$ y su concentración se debe a la presencia de minerales, gases producto de descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos que dan olor, color, sabor y eventualmente toxicidad al agua que los contiene.

Según Argandoña y Macías (2013), los (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua, están presentes en el agua de consumo proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. Son básicamente la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltos en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua.

2.5.5 POTENCIAL DE HIDRÓGENO

Bravo y Garzón (2017), afirman que el pH del agua es una medida de su acidez, y mantiene estrictos estándares para los niveles de pH adecuadas en el agua potable. Puede variar entre 0 y 14. Cuando es mayor de 7, es una sustancia básica; si es menor a 7, es una sustancia ácida.

El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia y un electrodo de vidrio que es sensible al ión hidrógeno; también se puede medir de forma aproximada el pH de una disolución empleando indicadores, ácidos o bases débiles que presentan diferente color según el pH; generalmente se emplea papel indicador, que se trata de papel impregnado de una mezcla de indicadores cualitativos para la determinación del pH (Laiza & Zegarra, 2016).

2.5.6 TURBIDEZ

Para González (2011), es una medida de la claridad de una muestra, que se refiere a la concentración de partículas en suspensión no disueltas presentes en un líquido, cuantos más sólidos en suspensión hay en el agua, más sucia parece y el valor de turbidez es más alto estas partículas se clasifican como sólidos suspendidos: son residuos de materia orgánica y también son de origen inorgánico y su unidad de medida es “Unidades de turbidez nefelométrica” o “NTU”.

Deloya (2006), define la turbidez como la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz se disperse y no se transmita a través de la suspensión. Las interacciones en las suspensiones naturales son complejas y el término “turbiedad” con frecuencia se utiliza en sentido cualitativo.

El método normalizado para la determinación de turbiedad se ha realizado con base en el turbidímetro, el reporte de los resultados de las mediciones nefelométricas se hace como unidades de turbiedad nefelométrica (NTU); el rango de lectura del turbidímetro utilizado en el Laboratorio se encuentra entre 0

NTU y 10.000 NTU, sin embargo, el intervalo de trabajo va desde 2,0 hasta 1750 NTU, este método se aplica en este laboratorio para el análisis de todo tipo de aguas y está estandarizado con un intervalo de aplicación entre 2,0 y 8750 NTU.

2.6 NORMATIVA ECUATORIANA PARA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES.

La regulación ambiental con respecto a la descarga de aguas residuales en el Ecuador se encuentra establecidas en el Texto Único de Legislación Ambiental Secundaria de Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Toda descarga a un cuerpo de agua dulce deberá cumplir con los valores establecidos a continuación

Tabla 2.1.

Límites máximos permisibles para descargas de efluentes a cuerpos de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Temperatura	T	°C	<35
Demanda Bioquímica de oxígeno (5 días)	D.B.O. ₅	mg/l	100
Sólidos sedimentables	SS	mg/l	-
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	100
Sólidos totales	ST	mg/l	1600

Fuente: TULSMA Anexo 1. (2015)

Además de los criterios indicados, la Entidad Ambiental de Control utilizará también las siguientes guías para la interpretación de la calidad del agua para riego y deberá autorizar o no el uso de agua con grado de restricción severo o moderado.

2.7 NORMA INEN PARA MUESTREO DE CALIDAD DE AGUA

La norma INEN 2169:2013 (sobre agua, calidad del agua, muestreo manejo y conservación de muestras), establece las técnicas y precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos, pero no análisis microbiológicos.

Dentro de las disposiciones generales esta norma señala que las aguas, superficiales y sobre todo las aguas residuales, son susceptibles a cambios en diferente grado como resultado de las reacciones físicas, químicas o biológicas, la naturaleza y la velocidad de estas reacciones son tales que, si no se toman precauciones antes y durante el transporte, así como durante el tiempo en el cual las muestras son conservadas en el laboratorio antes del análisis, las concentraciones determinadas en el laboratorio serán diferentes a las existentes en el momento del muestreo.

Para este fin se debe evitar la contaminación de la muestra, especialmente si la actividad de la muestra es baja. Algunas muestras presentan lecturas de actividad si permanecen en el sol o el aire. Por lo que se recomienda proteger las muestras de la luz solar.

Por otra parte, la norma INEN 2176:2013: (Sobre agua, calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo), establece guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, aguas contaminadas y aguas residuales para su caracterización. En su disposición general menciona que los tipos de muestra son necesarios para indicar la calidad del agua, todos los datos analíticos obtenidos mediante la determinación de parámetros como: las concentraciones de material inorgánico, minerales o químicos disueltos, gases disueltos, materia orgánica disuelta y materia en suspensión en el agua o en el sedimento en un tiempo y lugar específicos o a intervalos de tiempo y en un lugar en particular.

Se recomienda separar las muestras que van a ser usadas en los análisis químicos, microbiológicos y biológicos, debido a que el proceso y el equipo para la recolección y manejo de las muestras es diferente. Las técnicas de muestreo varían de acuerdo con situaciones específicas. En esta normativa se especifican 6 se son las siguientes:

Muestras puntuales: Las muestras puntuales son muestras individuales, recogidas de forma manual o automática, para aguas en la superficie, a una profundidad específica y en el fondo.

Muestras periódicas: Muestras periódicas tomadas a intervalos de tiempo fijos, estas muestras se toman usando un mecanismo cronometrado para iniciar y finalizar la recolección del agua durante un intervalo de tiempo específico.

Muestras continuas: Muestras continuas tomadas a flujos fijos, las muestras tomadas por esta técnica contienen todos los constituyentes presentes durante un período de muestreo, pero en muchos casos no proporciona información de la variación de la concentración de parámetros específicos durante el período de muestreo.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

El presente estudio se ejecutó en los alrededores de la comunidad de San Pablo de Tarugo, parroquia Canuto, cantón Chone, de la provincia de Manabí. En Las coordenadas UTM: 0602594 E, 9912716 N.

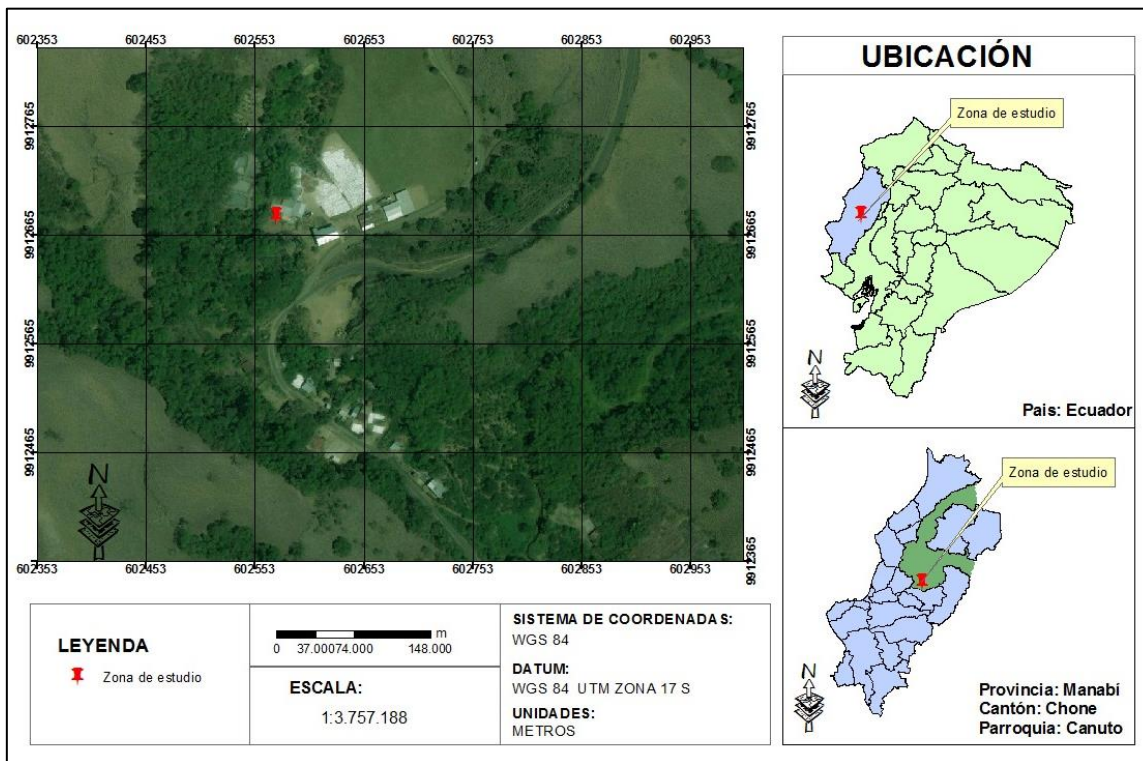


Figura 3.1. Ubicación de la zona de estudio
Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

3.2 DURACIÓN

Esta investigación tuvo una duración de nueve meses.

3.3 VARIABLES A MEDIR

3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Biofiltro (medio filtrante)

3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Porcentaje de remoción de sólidos (50%).

3.4 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.4.1 MÉTODOS

La investigación fue de carácter experimental, dado que se manipularon las variables para obtener datos que permitieron comparar los diferentes tratamientos y mediante un diseño completamente al azar simple, con un solo factor, se pudo identificar la unidad experimental óptima.

La estadística permitió demostrar si existió o no diferencia significativa entre los tratamientos a realizados, mediante la aplicación de la prueba de Tukey con un margen de error de 5%, misma que se realizó con el software SPSS 2.5. Este método fue aplicado eficazmente por Zambrano (2019).

3.4.2 TÉCNICAS

La revisión bibliográfica permitió recopilar información indispensable para el desarrollo de esta, a la vez que proporcionó las bases científicas para sustentar los principios teóricos que fueron llevados a la práctica. Las fuentes de la información fueron libros, revistas y artículos de carácter científico.

La norma INEN 2176:2013 referente a “calidad de agua”, fue el reglamento por el cual se rigió todo muestreo realizado en la investigación.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se efectuó un diseño completamente al azar (DCA) simple, con un solo factor, el mismo estuvo constituido de cuatro tratamientos con cuatro repeticiones obteniendo un total de 16 unidades experimentales.

Se evaluó la eficiencia del aserrín y la cascarilla de arroz en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. El factor de estudio será el medio filtrante (Aserrín o cascarilla) en distintos niveles (H_1 , H_2), como se detalla la tabla 3.1

Tabla 3.1
Factor de estudio.

Factor de estudio = Medio filtrante	
X	Aserrín
Y	Cascarilla de arroz
H ₁	0,35 m
H ₂	0,30 m

Fuente: Saltos y Zambrano, 2020.

Se establecieron cuatro tratamientos compuestos de tres materiales filtrantes, 0,05 m de grava y 0,05 m de arena como base en todas las repeticiones, el aserrín y la cascarilla de arroz se dispusieron en niveles diferentes (H₁=0,35m y H₂ =0,30m) para evaluar cuál grosor de la capa tuvo mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica. Así los tratamientos estarán compuestos según se muestra en la tabla 3.2 de este capítulo:

Tabla 2.2
Diseño experimental

Tratamientos	Materiales Filtrantes	Altura (m)	Total de lecho (m)
(1) X ₁ - H ₁	Aserrín	0,35	0,45
	Arena	0,05	
	Grava	0,05	
(2) X ₂ - H ₂	Aserrín	0,30	0,40
	Arena	0,05	
	Grava	0,05	
(3) Y ₁ - H ₁	Cascarilla de arroz	0,35	0,45
	Arena	0,05	
	Grava	0,05	
(4) Y ₂ - H ₂	Cascarilla de arroz	0,30	0,40
	Arena	0,05	
	Grava	0,05	

Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

3.6 MANEJO DEL EXPERIMENTO

3.6.1 FASE 1. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS DE LAS AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES PROVENIENTES DE LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS EN LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA

Actividad 1. Determinación de sólidos en una muestra de agua (pretratamiento) de los efluentes de la empresa Luisam, mediante análisis de laboratorio.

Se realizó la toma de una muestra compuesta de la rallandería Luisam, bajo la normativa INEN 2176:2013 para poder efectuar los análisis de sólidos basados en parámetros físicos y químicos tales como: sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos, turbiedad, pH y adicionalmente DBO_5 . Este último parámetro se midió exclusivamente para comparar con los resultados con la remoción de sólidos de los efluentes del filtro final que se implementó y de esta manera se midió su eficiencia; es decir, no se realizó la medición de DBO_5 en todas las unidades experimentales.

3.6.2 FASE 2. IMPLEMENTACIÓN DE UN FILTRO BIOLÓGICO PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES DE LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA.

Actividad 2. Diseño del filtro biológico vertical de flujo descendente.

Las dimensiones de los biofiltros se calcularon mediante la metodología aplicada por Guzmán y Vélez (2018) donde se utilizó las dimensiones especificadas en el apartado 2.3. El diseño del filtro es aplicado a cada tratamiento para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos. Para el abastecimiento de los 16 filtros se instaló 1 tanque de 250 litros interconectado mediante tuberías a los filtros biológicos. Zambrano (2019). Estos tanques se abastecieron de aguas residuales de las lagunas de disposición final de aguas residuales de la empresa Luisam, mediante bombas eléctricas de 1hp.

Actividad 3. Construcción de los filtros biológicos.

Los procedimientos para construir los filtros fueron basados en principios utilizados por Bravo y Garzón (2017) y Zambrano (2019). El material principal de construcción de los filtros fue tubo PVC de 0,1016m de diámetro y 0,5 m de longitud.

Las tapas de los filtros fueron prefabricadas de PVC cada tapa tendrá una

entrada o abertura de $\frac{1}{2}$ in de diámetro, cada filtro estuvo conectado desde la abertura de su tapa a un sistema de tuberías de abastecimiento de agua residual para su tratamiento. Mediante una válvula de $\frac{1}{2}$ in se controló el flujo de agua.

El fondo del filtro fue sellado con tapas de PVC, de igual manera llevó una abertura de $\frac{1}{2}$ in para el efluente de agua tratada. Se instaló una malla que sirvió de soporte del material filtrante y permitió dejar un área libre en el fondo donde filtró el agua tratada. Se implementó una base que sirva de soporte para los filtros experimentales, de esta manera se garantizó la seguridad de cada tratamiento y se evitó imperfectos en el estudio. Finalmente se empaquetó cada filtro midiendo las alturas y el volumen correspondientes a cada material.

Actividad 4. Análisis estadístico.

Se realizó una tabulación de todos los datos de los análisis de laboratorio de cada unidad experimental obtenidos a lo largo del experimento, siguiendo el procedimiento propuesto por Zambrano (2019), estos fueron ingresados en el Software SPSS 2.5 para poder efectuar el respectivo análisis de varianza y la prueba de Tukey con 5% de margen de error. De esta manera se observó si existía diferencia significativa entre tratamientos para determinar cuál fue el tratamiento con mayor remoción.

3.6.3 FASE 3. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA Y EL COSTO DEL FILTRO IMPLEMENTADO.

Actividad 5. Determinación de la remoción de sólidos en los efluentes postratamiento y el costo del filtro biológico.

Los parámetros a medir para determinar la remoción de sólidos fueron: Sólidos totales, sólidos disueltos, turbiedad y pH. El análisis de DBO_5 se realizó únicamente en la muestra inicial y en los efluentes (postratamiento) del filtro seleccionado para depurar las aguas de la empresa. De esta manera se evaluó la remoción de sólidos y eficiencia del filtro.

Dado que el experimento tuvo una duración de tres semanas, se tomó una muestra de cada unidad experimental por semana, dando un total de 48

muestras tomadas e igual número de análisis de parámetros, hasta su culminación. Se tomaron las muestras postratamiento a partir del día quinto de la puesta en marcha del experimento. Los datos que se obtuvieron fueron comparados estadísticamente con los resultados de los análisis hechos de la muestra tomada previa iniciación del experimento Guzmán y Vélez (2018) y Zambrano (2019). Se determinó el costo del filtro a implementar en la fábrica; es decir, aquel tratamiento que demostró ser más eficiente.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS DE LAS AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES PROVENIENTES DE LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS EN LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA.

El agua residual que genera la empresa presenta un ligero color gris, altos niveles de turbidez y sólidos debido a que no cuenta con procesos de tratamiento para estas aguas. Estos resultados son similares a los encontrados por orres, Rodriguez y Uribe (2003), quien adiciona que este problema se debe a ineficientes procesos de separación del almidón y la mancha; esta última aporta gran cantidad de materia orgánica a las aguas residuales de esta actividad productiva. Los resultados en detalle de los análisis de laboratorio de los parámetros establecidos se muestran en el Tabla 4.1.

Tabla 3.1

Resultados de la muestra y límites máximos permisibles de los parámetros en estudio.

Parámetros	Unidades	Muestra	Límite máximo permisible (TULSMA)
pH		5,77	5-9
Turbidez	FNU/NTU	282	No registra
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/l	400	100
Sólidos disueltos totales (TDS)	mg/l	576	NO REGISTRA
Sólidos Totales (TS)	mg/l	1200	1600
DBO ₅	mg/l	400mgO ₂ /l	100

Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

4.1.1 POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)

En los resultados obtenidos de la muestra tomada en la industria almidonera, dio como resultado un pH de 5,77, lo que indica que estas aguas residuales cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA (Tabla12). El resultado refleja ser similar a un estudio de aguas residuales realizado por Perez, Torres y Silva (2009), quienes detectaron un pH 5.75 en aguas residuales del proceso de extracción de yuca en Colombia, estos resultados manifiestan la ausencia de alcalinidad y una elevada acidez.

4.1.2 TURBIDEZ

Los resultados que se lograron obtener reflejan un valor de 282 FNU/NTU, relativamente superior a un estudio realizado por Aguilar y Másmela (2017), las cuales obtuvieron 82 FNU/NTU, la turbidez es parámetros físicos fundamentales en la determinación de la calidad de las aguas residuales; por ejemplo, la turbiedad representa la reducción de la transparencia del agua (interferencia del paso de luz) ocasionada por presencia de material particulado en suspensión. En el Ecuador la normativa legal vigente no establece un límite para la descarga de aguas en este parámetro.

4.1.3 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

En la muestra analizada se encontró un total de 400 mg/l, este valor es menor al registrado por Torres, Rodríguez y Uribe (2003) quienes obtuvieron un valor de 1190 mg/l para aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. Sin embargo, a pesar de ser un valor aparentemente bajo (400mg/l), no cumple con los parámetros de descarga a cuerpos de agua dulce establecidos por la normativa vigente de Ecuador. Otras investigaciones de depuración de aguas residuales de diferentes actividades han registrado valores de efluente bruto desde 130 mg/l hasta 40000 mg/l, dato publicado por Fuentes (2012).

4.1.4 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

El resultado obtenido de sólidos disueltos totales fue de 576 mg/l, este resultado es ligeramente menor al encontrado por Ahumada y Rodríguez (2006) establecieron 625 mg/l en aguas residuales industriales con un pH similar al de la muestra en estudio. Este dato es menor al registrado por otras investigaciones y la normativa legal vigente en Ecuador no establece un límite para este parámetro específico. Sin embargo, la OMS tiene un estándar de 1500mg/l, de acuerdo con lo establecido por Aniyikaiye, Oluseyi, Odiyo y Edokpayi (2019) en su análisis fisicoquímico de aguas residuales industriales realizado en Nigeria.

4.1.5 SÓLIDOS TOTALES

En la muestra realizada se obtuvo un resultado de 1200mg/l, este es un valor mayor al que obtuvieron Argandoña y Macias (2013) quienes dentro de su

estudio en aguas residuales de procesos industriales registraron un valor de 796mg/l. Los valores obtenidos de ST (sólidos totales) indican que este parámetro cumple con los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA.

4.1.6 DBO₅

El Ecuador en su normativa legal permite descargar efluentes a cuerpos de agua dulce, con un máximo de 100mg/l. Los efluentes de la rallandería estudiada sobrepasan el límite permitido en el país. De acuerdo con Galindo, Toncel y Rincón (2016) un efluente con alta carga orgánica puede eutrofizar cuerpos de agua a corto y largo plazo, lo que ocasiona un grave desequilibrio en los ecosistemas. Por esta razón es necesario aplicar medidas correctivas a este efluente.

4.2 DISEÑO DE UN FILTRO BIOLÓGICO PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES DE LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA.

4.2.1 FABRICACIÓN DE UN FILTRO BIOLÓGICO VERTICAL DE FLUJO DESCENDENTE.

Se obtuvieron 16 filtros de 0,50 m de altura y 0,10 cm de diámetro siguiendo la metodología de Guzmán y Vélez (2018). Cada filtro tiene una capacidad de 0,0040 m³ que equivale a 4 litros y un área superficial total de 0,17 m².

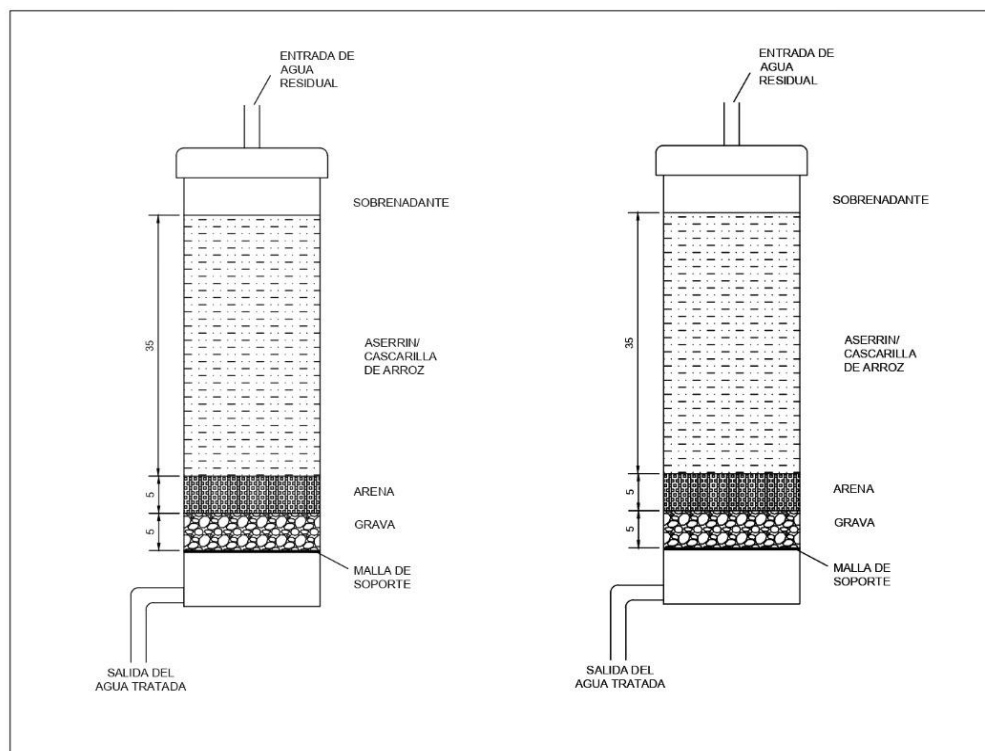


Figura 4.1. Diseño del filtro
Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

4.2.2 CONSTRUCCIÓN DE LOS FILTROS BIOLÓGICOS.

Se obtuvo el material filtrante “cascarilla de arroz” de la piladora de arroz “San José” de la ciudad de Calceta y el aserrín de un taller de madera de la misma ciudad (anexo 1).

Se diseñó un sistema de abastecimiento (Anexo 1) para el filtrado de agua residual constituido por un tanque elevado a 2 metros con una capacidad de 250 litros alimentado por una bomba de una pulgada, el tanque distribuyó el agua mediante un tubo de una pulgada unido a un segundo tubo de igual diámetro colocado de manera horizontal; a su vez en este tubo se colocaron reducciones de 1 a ½ pulgada para unir 4 tubos de ½ pulgada de 2 metros cada uno, colocados de manera horizontal y en paralelo a 0,50 m de distancia entre cada tubo. Estos tubos de 2 metros fueron cortados en 4 partes de 0,50 m para instalar uniones de ½ con llaves de paso para controlar el flujo de agua hacia los filtros empacados. Los filtros fueron empacados de acuerdo al diseño establecido en la fase 2.

4.2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La tabla 4.2 muestra los factores de estudio para el análisis estadístico.

Tabla 4.2
Factores de estudio para el análisis estadístico.

Factores inter-sujetos			
		Etiqueta de valor	N
Material filtrante	X	Aserrín	8
	Y	Cascarilla de Arroz	8
Altura del material	1	0,35 m	8
	2	0,30 m	8

Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

Se realizó en el software Microsoft Excel (2013) la tabulación de datos recolectados durante las 3 semanas de trabajo de campo, en el sitio del experimento y de análisis de laboratorio. Con estos datos se obtuvo un resultado del comportamiento de cada parámetro en cuanto a la remoción de sólidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, pH y turbidez respecto al tiempo, en las figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 se destacan los resultados.

La figura 4.2 Se presentó una disminución de acidez desde la primera semana con un valor de 6 llegando a reducir la acidez hasta un pH de 6,7 cercano a la neutralidad, tomando 5,7 como valor de la muestra inicial y 7 como valor de pH óptimo tenemos un rango de 1,3 que representa el 100% del cual se alcanzó un 77% de disminución de acidez aproximadamente, este mismo patrón se mostró en otras investigaciones como el estudio de aguas residuales realizado por Perez, Torres, & Silva (2009), quienes detectaron un pH de 5,75 en aguas residuales del proceso de extracción de yuca en Colombia.

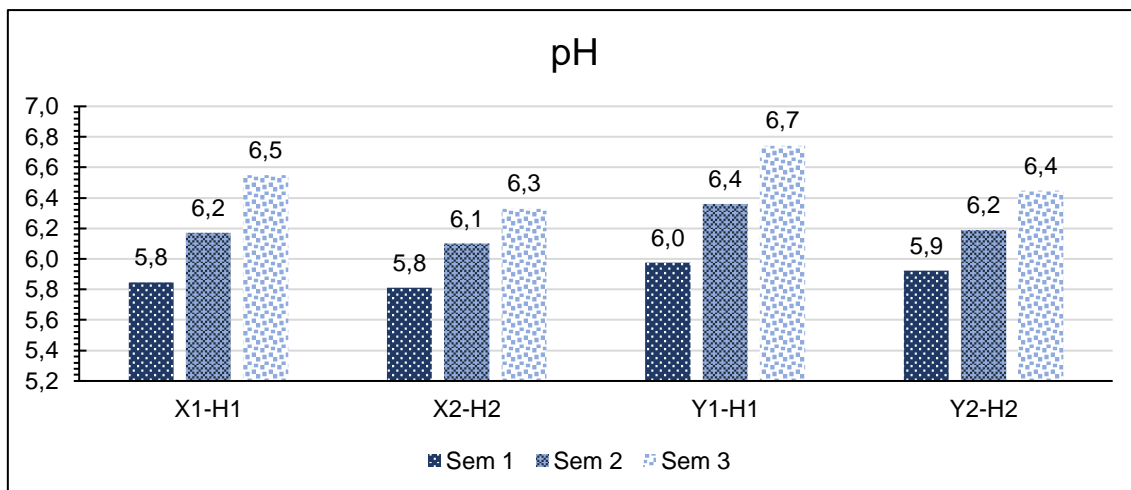


Figura 4.2. Valores de pH de las aguas residuales de las semanas 1, 2 y 3.
Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

En la figura 4.3 se observa disminución en un amplio rango de los valores de turbidez; sin embargo, estos números son relativamente superiores a un estudio realizado por Aguilar y Másmela (2017), las cuales obtuvieron 82 FNU/NTU. Los tratamientos del factor “Y” sí alcanzaron valores menores a los de dichos autores.

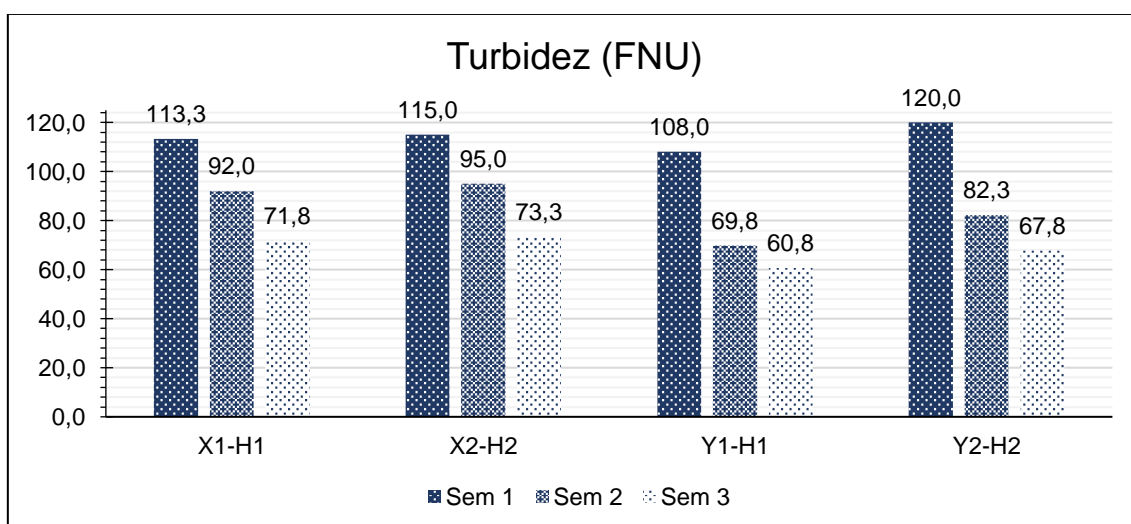


Figura 4.3. Valores de turbidez de las aguas residuales de las semanas 1, 2 y 3.
Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

La figura 4.4 muestra disminución gradual de los sólidos suspendidos, alcanzando hasta 168,5 mg/l. Torres, Rodriguez y Uribe (2003), registró un valor de 1190 mg/l en aguas residuales del mismo proceso alcanzando un promedio de 450 mg/l post tratamiento. En este caso la presente investigación superó los valores alcanzados por Torres, Rodriguez y Uribe, con aproximadamente tres veces mayor remoción.

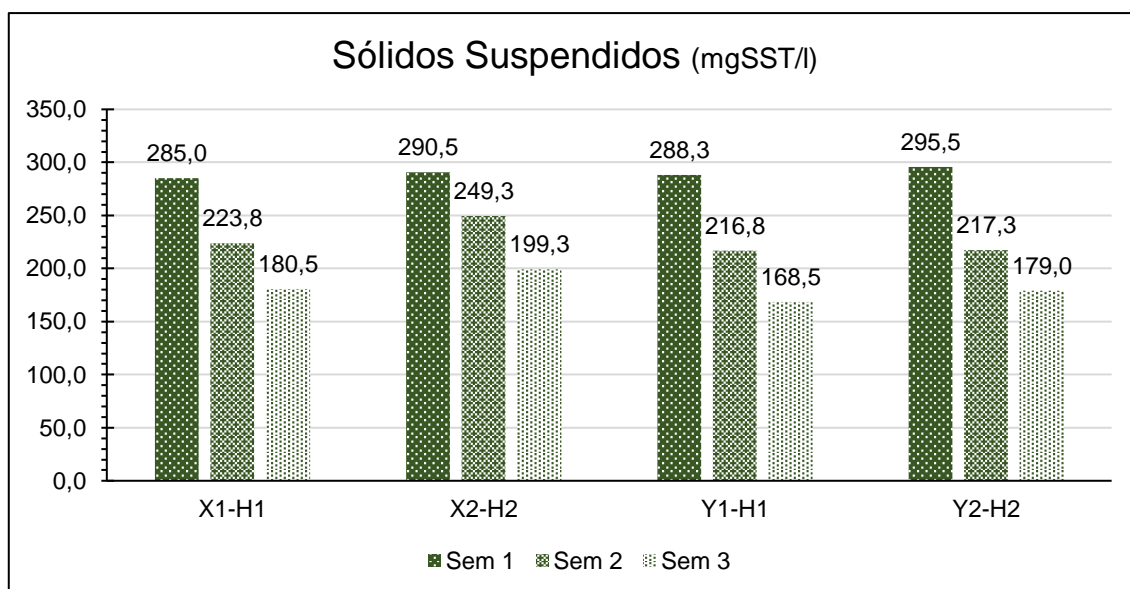


Figura 4.4. Valores de SST de las aguas residuales de las semanas 1, 2 y 3.
Elaborado por: Salto y Zambrano, 2020.

En cuanto a sólidos disueltos los análisis muestran una disminución de la concentración similar al comportamiento de los demás parámetros en estudio. Como se muestra en la figura 4.5 la concentración disminuyó hasta alcanzar 326,5 mg/l en la última semana del experimento.

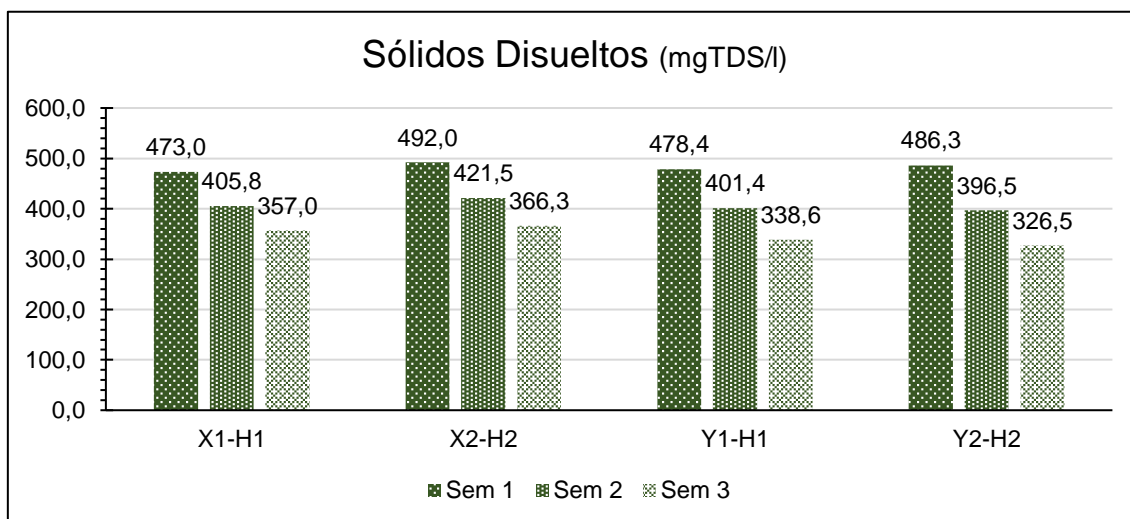


Figura 4.5. Valores de SDT de las aguas residuales de las semanas 1, 2 y 3.
Elaborado por: Salto y Zambrano, 2020.

Se destacan en la reducción de sólidos los tratamientos del factor H₁ (h= 0,35m) siendo Y₁ – H₁ el tratamiento con mayor remoción de sólidos. En la muestra realizada se obtuvo un resultado de 1200mg/l, este es un valor mayor al que obtuvieron Argandoña y Macías (2013) quienes dentro de su estudio en aguas

residuales de procesos industriales registraron un valor de 796 mg/l. En la tercera semana se obtuvieron valores de 350 mg/l en promedio, cumpliendo con la normativa vigente.

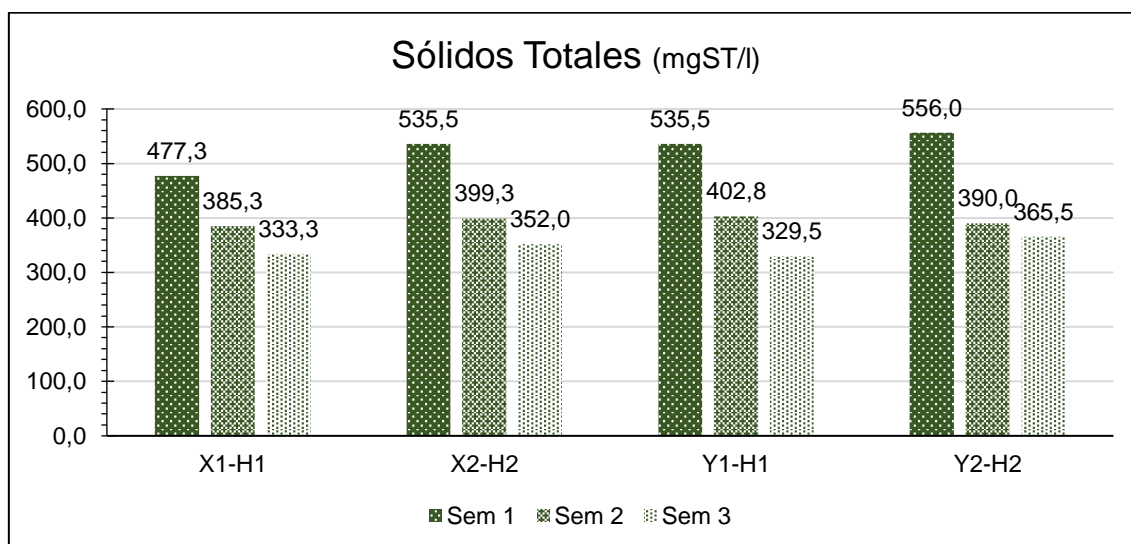


Figura 4.6. Valores de ST de las aguas residuales de las semanas 1, 2 y 3.
Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

En la tabla 4.3 se detalla el análisis de varianza, demostrando que no hay diferencia significativa entre material filtrante y la altura del lecho, partiendo de los resultados de significancia obtenidos (p-valor).

Tabla 4.3.
Análisis de Varianza.

Pruebas de efectos inter-sujetos: pH					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,067 ^a	3	0,022	1,113	0,382
Material	0,059	1	0,059	2,942	0,112
Altura	0,008	1	0,008	0,383	0,548
Material * Altura	0	1	0	0,015	0,904
Error	0,24	12	0,02		
Total	555,027	16			
Total corregido	0,307	15			

a. R al cuadrado = ,218 (R al cuadrado ajustada = ,022)

Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

La tabla 4.4 muestra que en el análisis de Tukey respecto a las comparaciones múltiples entre tratamientos para el parámetro pH no se encontraron diferencias significativas dado que existen valores superiores a 0,05 en cada uno de ellos.

Tabla 4.4.

Resumen del experimento respecto a comparaciones múltiples entre tratamientos para el parámetro pH.

Comparaciones múltiples					
Parámetro: pH HSD Tukey					
(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I- J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza
					al 95% Límite inferior
X ₁ -H ₁	X ₂ -H ₂	0,035	0,09997	0,985	-0,2618
	Y ₁ -H ₁	-0,13	0,09997	0,58	-0,4268
	Y ₂ -H ₂	-0,0775	0,09997	0,864	-0,3743
X ₂ -H ₂	X ₁ -H ₁	-0,035	0,09997	0,985	-0,3318
	Y ₁ -H ₁	-0,165	0,09997	0,389	-0,4618
	Y ₂ -H ₂	-0,1125	0,09997	0,682	-0,4093
Y ₁ -H ₁	X ₁ -H ₁	0,13	0,09997	0,58	-0,1668
	X ₂ -H ₂	0,165	0,09997	0,389	-0,1318
	Y ₂ -H ₂	0,0525	0,09997	0,951	-0,2443
Y ₂ -H ₂	X ₁ -H ₁	0,0775	0,09997	0,864	-0,2193
	X ₂ -H ₂	0,1125	0,09997	0,682	-0,1843
	Y ₁ -H ₁	-0,0525	0,09997	0,951	-0,3493

Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

A pesar de que este parámetro puede variar por la composición del agua residual, la productividad de la empresa y el tiempo, se confirma que no existe diferencia significativa entre tratamientos para el parámetro de pH, con base en el “p-valor” que muestra la Tabla 4.5.

Tabla 4.5.

Significancia de tratamientos para el parámetro de pH.

HSD Tukey ^a	N	Valor
X ₂ -H ₂	4	5,81
X ₁ -H ₁	4	5,845
Y ₂ -H ₂	4	5,9225
Y ₁ -H ₁	4	5,975
Sig.		0,389

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

La turbidez es el único parámetro donde existe diferencia significativa, la cual se muestra entre el tratamiento Y₁-H₁ y X₂-H₂, como se observa en el Tabla 4.6, en donde el p-valor es menor a 0,05.

Tabla 4.6.
Significancia de tratamientos para el parámetro de Turbidez

Comparaciones múltiples						
Variable: Turbidez HSD Tukey						
(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
	X ₂ -H ₂	-3	3,94493	0,871	-14,7121	8,7121
X ₁ -H ₁	Y ₁ -H ₁	22,25000*	3,94493	0,001	10,5379	33,9621
	Y ₂ -H ₂	9,75	3,94493	0,116	-1,9621	21,4621
X ₂ -H ₂	X ₁ -H ₁	3	3,94493	0,871	-8,7121	14,7121
	Y ₁ -H ₁	25,25000*	3,94493	0	13,5379	36,9621
	Y ₂ -H ₂	12,75000*	3,94493	0,032	1,0379	24,4621
Y ₁ -H ₁	X ₁ -H ₁	-22,25000*	3,94493	0,001	-33,9621	-10,5379
	X ₂ -H ₂	-25,25000*	3,94493	0	-36,9621	-13,5379
	Y ₂ -H ₂	-12,50000*	3,94493	0,035	-24,2121	-0,7879
Y ₂ -H ₂	X ₁ -H ₁	-9,75	3,94493	0,116	-21,4621	1,9621
	X ₂ -H ₂	-12,75000*	3,94493	0,032	-24,4621	-1,0379
	Y ₁ -H ₁	12,50000*	3,94493	0,035	0,7879	24,2121

Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

La tabla 4.7 muestra que no hay diferencia significativa entre tratamientos respecto a la remoción de sólidos suspendidos totales debido a que el p-valor muestra valores superiores a 0,05 en todas las comparaciones efectuadas.

Tabla 4.7.
Significancia de tratamientos para el parámetro de sólidos suspendidos totales.

Comparaciones múltiples						
Variable: SST HSD Tukey						
(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
X ₁ -H ₁	X ₂ -H ₂	-18,75	9,2122	0,229	-46,1001	8,6001
	Y ₁ -H ₁	12	9,2122	0,579	-15,3501	39,3501
	Y ₂ -H ₂	1,5	9,2122	0,998	-25,8501	28,8501
X ₂ -H ₂	X ₁ -H ₁	18,75	9,2122	0,229	-8,6001	46,1001
	Y ₁ -H ₁	30,75000*	9,2122	0,026	3,3999	58,1001
	Y ₂ -H ₂	20,25	9,2122	0,179	-7,1001	47,6001
Y ₁ -H ₁	X ₁ -H ₁	-12	9,2122	0,579	-39,3501	15,3501
	X ₂ -H ₂	-30,75000*	9,2122	0,026	-58,1001	-3,3999
	Y ₂ -H ₂	-10,5	9,2122	0,673	-37,8501	16,8501
Y ₂ -H ₂	X ₁ -H ₁	-1,5	9,2122	0,998	-28,8501	25,8501
	X ₂ -H ₂	-20,25	9,2122	0,179	-47,6001	7,1001
	Y ₁ -H ₁	10,5	9,2122	0,673	-16,8501	37,8501

Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

El p-valor es superior a 0,05 en todas las comparaciones realizadas para el parámetro de sólidos disueltos totales, por lo tanto, no existe diferencia significativa entre tratamientos para dicho factor, como lo muestra la tabla 4.8

Tabla 4.8.
Significancia de tratamientos para el parámetro de sólidos disueltos totales.

Comparaciones múltiples						
Variable: SDT HSD Tukey						
(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
X ₁ -H ₁	X ₂ -H ₂	-9,25	17,3187	0,949	-60,6675	42,1675
	Y ₁ -H ₁	19,75	17,3187	0,673	-31,6675	71,1675
	Y ₂ -H ₂	30,5	17,3187	0,337	-20,9175	81,9175
X ₂ -H ₂	X ₁ -H ₁	9,25	17,3187	0,949	-42,1675	60,6675
	Y ₁ -H ₁	29	17,3187	0,377	-22,4175	80,4175
	Y ₂ -H ₂	39,75	17,3187	0,154	-11,6675	91,1675
Y ₁ -H ₁	X ₁ -H ₁	-19,75	17,3187	0,673	-71,1675	31,6675
	X ₂ -H ₂	-29	17,3187	0,377	-80,4175	22,4175
	Y ₂ -H ₂	10,75	17,3187	0,923	-40,6675	62,1675
Y ₂ -H ₂	X ₁ -H ₁	-30,5	17,3187	0,337	-81,9175	20,9175
	X ₂ -H ₂	-39,75	17,3187	0,154	-91,1675	11,6675
	Y ₁ -H ₁	-10,75	17,3187	0,923	-62,1675	40,6675

Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

Empleando las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos se obtuvo una significancia de 0,389; esto indica que no existen diferencias significativas entre tratamientos (Tablas 4.4 y 4.5). Con excepción de la turbidez, este análisis aplica para todos los parámetros (Tablas 4.7; 4.8 y 4.9) ya que no hay diferencia significativa entre tratamientos.

Tabla 4.9.
Significancia de tratamientos para el parámetro de sólidos totales.

Comparaciones múltiples						
Variable: ST HSD Tukey						
(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
X ₁ -H ₁	X ₂ -H ₂	-18,75	16,8557	0,689	-68,7929	31,2929
	Y ₁ -H ₁	3,75	16,8557	0,996	-46,2929	53,7929
	Y ₂ -H ₂	-32,25	16,8557	0,273	-82,2929	17,7929
X ₂ -H ₂	X ₁ -H ₁	18,75	16,8557	0,689	-31,2929	68,7929
	Y ₁ -H ₁	22,5	16,8557	0,56	-27,5429	72,5429
	Y ₂ -H ₂	-13,5	16,8557	0,853	-63,5429	36,5429
Y ₁ -H ₁	X ₁ -H ₁	-3,75	16,8557	0,996	-53,7929	46,2929
	X ₂ -H ₂	-22,5	16,8557	0,56	-72,5429	27,5429
	Y ₂ -H ₂	-36	16,8557	0,197	-86,0429	14,0429
Y ₂ -H ₂	X ₁ -H ₁	32,25	16,8557	0,273	-17,7929	82,2929
	X ₂ -H ₂	13,5	16,8557	0,853	-36,5429	63,5429
	Y ₁ -H ₁	36	16,8557	0,197	-14,0429	86,0429

Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

4.3 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA Y EL COSTO DEL FILTRO IMPLEMENTADO.

Al no haber diferencia significativa entre tratamientos se implementó un filtro con las proporciones del tratamiento X₂-H₂, el cual presentó diferencia significativa en

el parámetro de turbidez. Se instaló un filtro biológico. Este se construyó con un tanque de PVC (Policloruro de Vinilo) de capacidad de 250 litros, como se muestra en la figura 4.1. Se utilizó la misma metodología del experimento, colocando una malla con soporte (debidamente impermeabilizado) para la retención del material filtrante. Se estableció además una capa o malla plástica para distribuir de forma homogénea el agua residual que ingresó. El transporte de agua residual se realizó por bombeo mediante mangueras y tuberías de PVC de ½ pulgada, con un sistema para detener el flujo de manera automática al haber sobrecarga de agua residual, obteniendo aproximadamente 11,45 m³/h de agua filtrada.

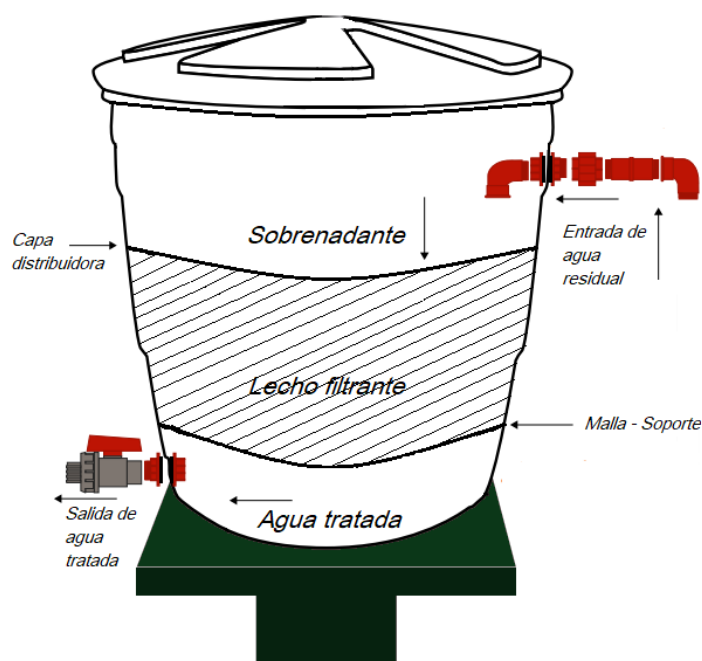


Figura 4.7. Filtro biológico implementado.
Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

Una vez terminado el filtro se procedió a realizar los análisis de muestras para determinar la remoción de sólidos del mismo (anexo 2), a partir de la segunda semana de su puesta en marcha. Se realizaron tres tomas de muestras, los días uno cuatro y seis, de la misma semana. De dichos análisis se realizó un promedio donde se observa que el filtro alcanzó en promedio una remoción de 72,9% de turbidez, 51,2% de SST, 45,2% de SDT, 61,1% de ST y 64,2% en la remoción de DBO, cabe aclarar que este último parámetro no fue parte del experimento; solo se realizó su análisis como medida adicional a la prueba de eficiencia del filtro final implementado, ya que el objetivo de la investigación fue limitado a la

remoción de sólidos. Los valores de la muestra inicial y del efluente post-tratamiento se observan en la figura 4.8.

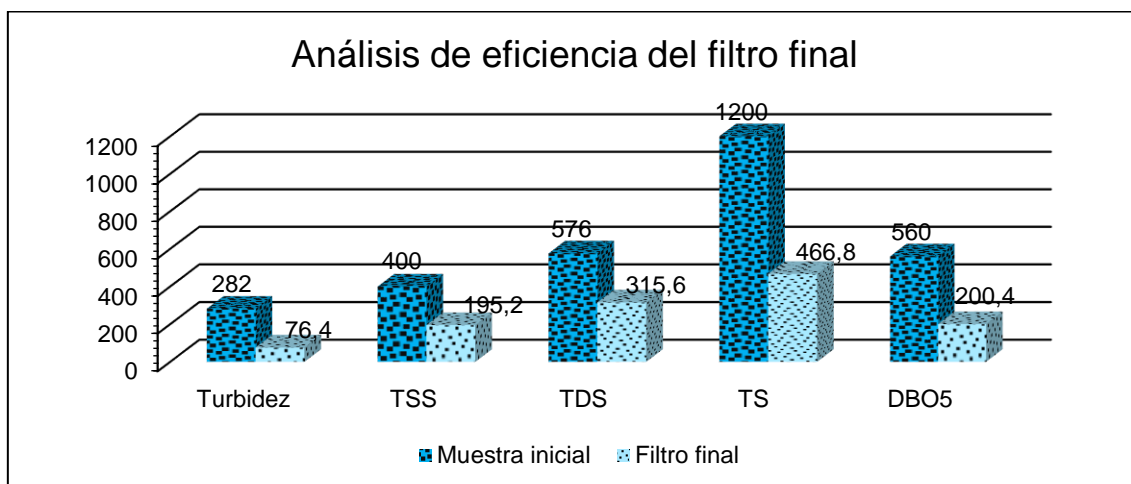


Figura 4.8. Análisis de eficiencia, muestra inicial vs muestra final.
Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

Los resultados de pH se muestran en el Figura 4.9, donde se puede observar que el filtro final logró disminuir la acidez hasta llegar a un pH de 6,6.

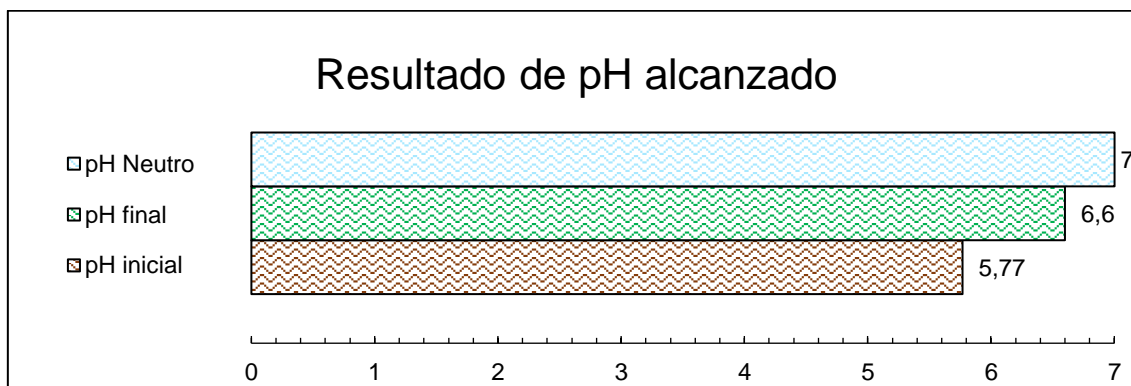


Figura 4.9. Análisis de eficiencia, muestra inicial vs filtro final de pH
Elaborado por: Saltos y Zambrano, 2020.

Una de las ventajas del filtro final implementado es su bajo costo, dado que no requiere de materiales de alto valor económico, ya que en su mayoría son reciclables, tales como el aserrín y la cascarilla de arroz (anexo 1.1), los cuales constituyen el lecho que se cambia periódicamente y se puede obtener de manera gratuita (en Ecuador) en aserraderos de madera y pequeñas empresas arroceras, respectivamente. El precio final del filtro se estableció con base en los materiales utilizados. Los costos de los estudios técnicos para su diseño, la mano de obra de construcción, instalación y mantenimiento no están incluidos, por ser este un proyecto de investigación sin fines de lucro, dirigido al desarrollo de la

comunidad.

El aserrín es un material reciclable que se puede obtener a un precio muy bajo (1\$ USD/ bolsa de 36 x 36 cm). El costo que genera este material varía en función del transporte y almacenamiento. De la misma manera ocurre con la arena y la grava que tienen precios relativamente bajos en el mercado (\$2 y \$5 USD/qq respectivamente). Los costos de los materiales utilizados en la implementación de un filtro biológico y sus costos de mantenimiento se detallan en la Tabla 4.10. Los costos del sistema de abastecimiento de agua residual y mano de obra constan en dicha tabla, pero no forman parte del precio final, ya que esto no es parte del sistema de filtración y puede variar de acuerdo con los requerimientos de la empresa. Por lo tanto, el precio final del filtro es de \$107,00 USD.

Tabla 4.10.
Costo del filtro biológico.

Materiales	Precio/ USD	Frecuencia de mantenimiento
1 Tanque 250 litros	\$60,00	5 años
2, Malla soporte	\$40,00	1 año
3 Arena	\$2,00	1 mes
4 Grava	\$5,00	1 mes
5 Tuberías de abastecimiento y accesorios	\$80,00	2 años
6 Mano de obra	\$40	-
Total	\$227,00	-
Precio del filtro	\$107,00	

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El agua residual de la rallandería estudiada presentó altos niveles de acidez, turbidez, y por consiguiente de sólidos. Aun siendo elevados estos niveles, se mantienen dentro de los niveles máximos permisibles por la ley ambiental de Ecuador, con excepción de los sólidos suspendidos totales cuyo valor (400mg/l) superó considerablemente la norma (100mg/l), y la DBO₅ que superó la normativa en la misma proporción.
- Se confirma la hipótesis planteada para todos los parámetros, con excepción de SDT (Sólidos disueltos totales) que no alcanzó el 50% de remoción establecido.
- Se implementó el tratamiento (Y₂ – H₂) para el filtro final, el cual contaba con una altura total del lecho de 0,40m y una composición de 0,30m de cascarilla de arroz, 0,05m de arena y 0,05m de grava el mismo que alcanzó remociones de 72,9% de turbidez, 51,2% de SST, 45,2% de SDT, 61,1% de ST y 64,2% en la remoción de DBO. El costo final del filtro es de USD \$107,00 con una duración de 5 años aproximadamente, con un mantenimiento periódico.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar muestreos semanales del agua residual ya que la composición de esta puede variar según la producción, actividad de la empresa o época del año; tomando en cuenta que las lluvias o variaciones en la temperatura influyen directamente en el comportamiento de los microorganismos degradadores de las aguas residuales, entre otros factores; por lo tanto, se verán afectados los niveles de eficiencia de los filtros.
- No se encontró diferencia significativa entre tratamientos, por lo que se recomienda experimentar en el aprovechamiento de nuevos materiales residuales, sean estos residuos agroindustriales propios de la zona o de residuos sintéticos de pequeñas empresas de la comunidad; como lo son los residuos plásticos.

- Se recomienda estudiar la composición de los medios filtrantes para poder evaluar su influencia en los valores finales de remoción de contaminantes y los factores que pueden intervenir en dicha remoción.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, N., & Másmela, A. (2017). *Evaluación de almidón de Manihot esculenta (Yuca) y Musa AAB Simmonds. (Plátano) en procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales en la PTARD del parque agroindustrial de occidente – PAO*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
- Ahumada, L., & Rodríguez, J. (2006). Uso del SiO₂ obtenido de la cascarilla de arroz en la síntesis de silicatos de calcio. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 30(117), 581-594.
- Alarcón, M., & Dufour, D. (1998). Almidón agrio de yuca en Colombia: Producción y recomendaciones. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Álvarez, J., López, G., Amutio, M., Bilbao, J., & Olazar, M. (2014). Bio-oil production from rice husk fast pyrolysis in a conical spouted bed reaction. *Fuek*, 162-169.
- Aniyikaiye, T., Oluseyi, T., Odiyo, J., & Edokpayi, J. (2019). Physico-chemical analysis of wastewater discharge from selected paint industries in Lagos, Nigeria. *International journal of environmental research and public health*, 16(7), 1235.
- Argandoña, L., & Macias, R. (2013). Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia colón, cantón Portoviejo, provincia de Manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013. *Doctoral dissertation, Ing. Alexandra Córdova*. Portoviejo: UTM.
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Beltrán, E., & Rangel, O. (2012). Modelación dinámica de los sólidos suspendidos totales en el humedal Jaboque, Bogotá (Colombia).

Colombia forestal, 191-205.

- Blacio, D., & Palacios, J. (2011). Filtros biológicos para la potabilización del agua, posibilidades de uso de FLA (filtros lentos de arena) con agua superficial de nuestra región. *Doctoral dissertation, Tesis. Ing. Civil* (pág. 8). Cuenca, Ecuador: UDC.
- Bravo, E. (2013). *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Coatepec, Veracruz*. Veracruz. MX.: Universidad Veracruzana.
- Bravo, K., & Garzón, A. (2017). *Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (Cocos nucifera) para remoción de contaminantes en agua*. Calceta: ESPAM MFL.
- Calle, G. M., & Jácome, J. A. (2014). *Validación de métodos analíticos para la determinación de la demanda química de oxígeno (rango bajo, rango medio, rango alto), sólidos totales disueltos y sólidos totales suspendidos en matrices de agua clara y residual en el Centro de Investigaciones y O*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Chacón, M. Y. (2016). *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Cobeña, G. A., & Cárdenas, F. M. (2010). *Investigación de alternativas de mercado de yuca y camote para los/as pequeños/as productores/as de Manabí Ecuador*. Portoviejo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Portoviejo. Programa de Yuca y Camote.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. (N. Antequera, Ed.) Cochabamba – Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).
- Deloya, A. (2006). Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, 19(2), 31-40.

- FAO. (2018). Seguimiento del mercado del arroz de la FAO. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, 21(4).
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química viva*, 11(3), 147-170.
- Fernández, R., Avilés, R., Fernández, A., & Calero, S. (2016). Estudio sobre las potencialidades de aserrín como materia prima en la industria forestal en Guayaquil, Ecuador. *HOLOS*, 4, 105-114.
- Flores, R. A., & Reyes, J. I. (2013). *Reacción asistida por microondas para la obtención de hidrocarburos a partir de aserrín de madera*. Quito: UCE.
- Fuentes, A. (2012). *Diseño y cálculo de la obra de llegada y pretratamiento de una EDARU*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Galindo, A., Toncel, E., & Rincón, N. (2016). Evaluación de un filtro biológico de un uso como post-tratamiento de aguas residuales, utilizando conchas marinas como material de soporte. *Revista ION*, 29(2), 39-50.
- González, C. (2011). *La turbidez. Monitoreo de la calidad del agua*, .
- Guzmán, W., & Vélez, S. N. (2018). *Evaluación de mezcla de cascarilla de arroz y barro como medio filtrante para remoción de sólidos suspendidos en agua de río*. Calceta: ESPAM MFL.
- Howeler, R., Litaladio, N., & Thomas, G. (2013). *Cassava. Una guía para la producción sustentable e intensificación de la producción. Ahorrar para crecer*. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- INEC. (2011). *Reporte estadístico del SECTOR AGROPECUARIO*. INEC.
- Kurtis, K. E., & Rodrigues, F. A. (2003). Hidratación temprana del cemento de ceniza de cáscara de arroz examinado por microscopía de rayos X. *Cement and Concrete Research*, 33(4), 509–515.
- Laiza, F. H., & Zegarra, T. M. (2016). *influencia del potencial de hidrogeno (ph)*

y la granulometría sobre el ratio de concentración y el porcentaje de recuperación de oro (au), plata (ag) y cobre (cu) en la flotación de un mineral tipo sulfuro con alto contenido de plata. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.

Ley Orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. (2014). Quito: República del Ecuador.

NTE INEN 2169 y 2176. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana. Técnicas de muestreo para calidad de agua. EC.*

OPS. (2005). *Procedimientos para la operación y mantenimiento de sistemas de filtración de múltiples etapas.* Organización Panamericana de la Salud.

OPSA -PUCE. (2017). *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).* Obtenido de <http://opsa.com.ec/es/caracteristicas-del-agua-dulce-en-cuencas-hidrograficas/demanda-bioquimica-de-oxigeno>

Perez, A., Torres, P., & Silva, J. (2009). Tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. Optimización de variables ambientales y operacionales. *Dyna*, 76(160), 139-148.

Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80.

Rodríguez, Y., Salinas, L., & Ríos, A. &. (2012). Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 146 - 156.

Romano, J. S., & Rodríguez, F. A. (2008). Cementos obtenidos de cáscara de arroz: Encapsulación de metales pesados. *Journal of hazardous material*, 154(1), 1075-1080.

Saavedra, F., Ortíz Pacaya, D., & Herrera, S. (2014). *Estudio de pre-factibilidad para la instalación de una planta para obtener bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos-cáscaras de arroz (Oriza sativa) en la Región*

Loreto. Perú: Universidad Nacional De La Amazonía Peruana .

SENAGUA. (2016). *Estrategia nacional de calidad del agua*. Secretaría Nacional del Agua.

SENPLADES. (2009). *Plan Nacional de Desarrollo “Toda una vida” 2017 – 2021*. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.

Toasa, F. (2012). *Validación de los metodos de ensayo para fenoles, tensoactivos, solidos suspendidos y total de solidos disueltos (TDS)*. Quito: UCE.

Torres, A. (2011). Metodología para la estimación de incertidumbres asociadas a concentraciones de sólidos suspendidos totales mediante métodos de generación aleatoria. *Revista TecnoLógicas*, 24, 181-200.

Torres, P., Rodriguez, J., & Uribe, I. (2003). Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte. *Scientia et technica*, 3(23), 75-80.

TULSMA. (2015). *Libro VI, Anexo 1. Límites máximos permisibles para descargas de efluentes a cuerpos de agua dulce*. Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio del Ambiente de Ecuador.

Valverde, A., Sarria, B., & Monteagudo, J. P. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*(37), 255-260.

Zambrano, I. (. (2019). *Filtros de arcilla y cascarilla de arroz, incidencia en remoción de carga orgánica en aguas residuales de la ciudad de Portoviejo*. Calceta: ESPAM MFL.

ANEXOS

ANEXO 1. Construcción de los filtros biológicos y puesta en marcha del experimento.



ANEXO 1.1 Cascarilla de arroz.



ANEXO 1.2 Construcción del sistema de abastecimiento.



ANEXO 1.3 Preparación del material filtrante.



ANEXO 1.4 Puesta en marcha del experimento.

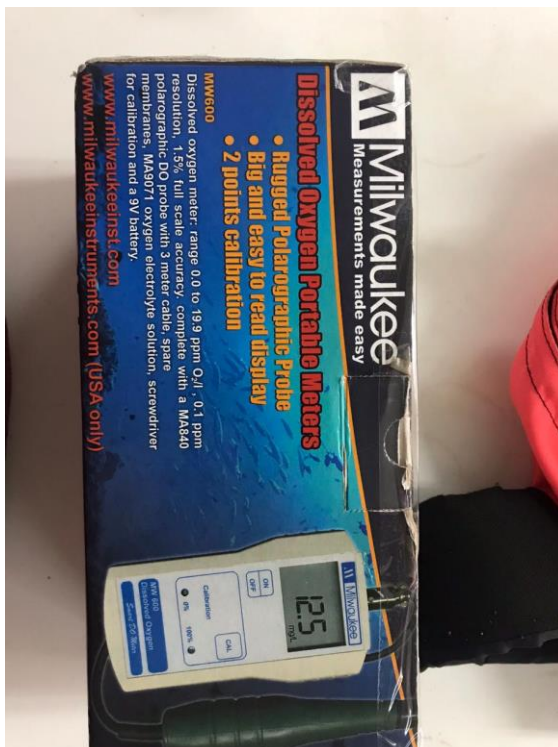
ANEXO 2. Análisis de laboratorio.



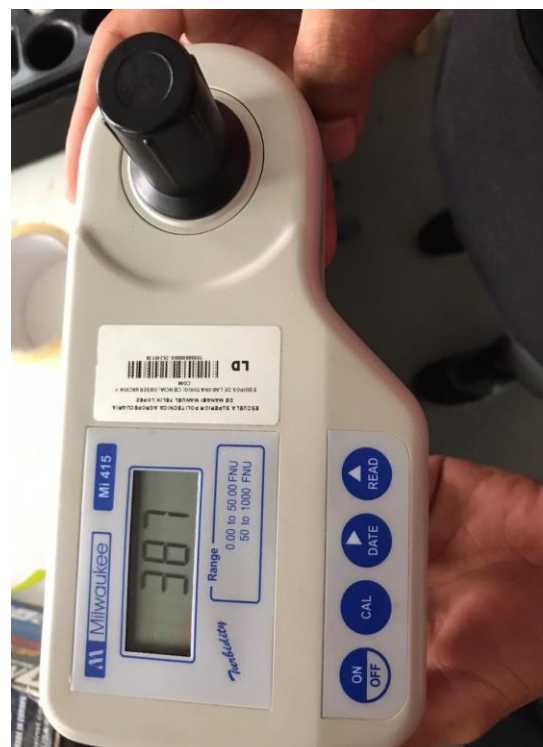
ANEXO 2.1 Análisis de DBO₅.



ANEXO 2.2 Análisis de sólidos de la muestra inicial.



ANEXO 2.3 Equipo utilizado en la medición de pH



ANEXO 2.4 Lectura de turbidez

ANEXO 3. *Filtro final implementado.*ANEXO 3.1 *Filtro final*ANEXO 3.2 *Filtro final implementado*ANEXO 4. *Tabulación de datos de análisis de laboratorio.*

PARÁMETRO	SEMANA	UNIDADES EXPERIMENTALES																MUESTRA INICIAL
		X1-H1				X2-H2				Y1-H1				Y2-H2				
pH.	1	5,91	5,88	5,8	5,79	5,7	5,8	5,7	6,04	6,19	6,02	5,9	5,79	5,8	5,8	6,09	6	5,77
	2	6,08	6	6,1	6,5	6	6,13	6,04	6,23	6,51	6,27	6,33	6,33	6,01	6,2	6,24	6,3	
	3	6,63	6,24	6,43	6,89	6,22	6,45	6,3	6,35	7,01	6,49	6,67	6,8	6,43	6,66	6,3	6,4	
TURBIDEZ (NTU)	1	110	115	118	110	109	113	130	108	93	103	121	115	116	120	122	122	282
	2	90	79	99	100	93	97	95	95	73	68	68	70	83	81	77	88	
	3	78	70	66	73	68	76	77	72	59	62	61	61	67	71	67	66	
TSS (mg/l)	1	293	280	277	290	291	272	299	300	283	292	291	287	304	290	298	290	400
	2	184	210	229	272	274	218	227	278	191	211	273	192	220	204	212	233	
	3	157	189	181	195	208	194	182	213	164	177	180	153	189	173	176	178	
TDS (mg/l)	1	458	478	487	469	498	485	493	492	462	479	472	491	488	465	496	496	576
	2	408	401	421	393	436	439	411	400	329	390	428	445	415	369	402	400	
	3	333	390	325	380	389	376	353	347	304	325	365	355	344	315	327	320	
TS (mg/l)	1	435	543	519	412	645	499	476	522	503	629	533	477	616	523	498	587	1200
	2	389	414	373	365	427	412	402	356	408	422	402	379	390	388	381	401	
	3	366	323	311	333	373	355	355	325	311	310	357	340	378	370	325	389	

ANEXO 5. *Certificación de análisis de laboratorio.*



CERTIFICACIÓN

Por medio de la presente certifico que **SALTOS ANCHUNDIA JULIÁN ALEJANDRO CI 1312193558** y **ZAMBRANO MORA JUAN DAVID CI 1315708642** egresados de la carrera de Ing. Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "MFL", realizaron análisis físicos químicos (DBO5, SST, SDT, ST y pH) para llevar a cabo el proyecto de titulación **"IMPLEMENTACIÓN DE BIOFILTRO PARA REMOVER SÓLIDOS EN AGUAS RESIDUALES DEL PROCESAMIENTO DE ALMIDÓN DE YUCA EN SAN PABLO DE TARUGO-CHONE, MANABÍ."**

Análisis que estuvieron supervisados bajo el personal del laboratorio Química Ambiental y Suelos.

Particular que me suscribe a usted para los fines legales pertinentes.

Atentamente

MG. FABIÁN PEÑARRIETA MACÍAS
TÉCNICO